

Wojciech Borkowski

**Taksonomiczne i geograficzne zróżnicowanie
tarniny (*Prunus spinosa* L.) w świetle badań
z użyciem automatycznej biometrii i eksploracyjnej
analizy danych.**

Praca doktorska wykonana w
Zakładzie Systematyki i Geografii Roślin
Uniwersytetu Warszawskiego.
Promotor: prof. Jerzy Staszkiwicz
Instytut Botaniki PAN w Krakowie.

Warszawa –2001

(obroniona 1.10.2001 r.)

Kontakt z autorem:

borkowsk@flora-ojczysta.pl

borkowsk@samba.iss.uw.edu.pl

[Wersja 1.01. Warszawa 2002]

Podziękowania:

Profesorowi dr hab. Andrzejowi Batko za skierowanie mnie na drogę Nauki, Profesorowi dr hab. Jerzemu Staszkiwiczowi za prowadzenie mnie na tej drodze, dr Ireneuszowi Moraczewskiemu, dr Tomaszowi Wyszomirskiemu, dr hab. Barbarze Sudnik-Wójcikowskiej i dr Janinie Andrearczyk-Kuraczyk za ich merytoryczną pomoc, a za koleżeńskie wsparcie dr hab. Bożenie Zakryś, dr hab. Alicji Borowskiej, dr Bożenie Dubieleckiej i wszystkim koleżankom i kolegom z Zakładu Systematyki i Geografii Roślin oraz pozostałych Zakładów Instytutu Botaniki Uniwersytetu Warszawskiego.

Szczególnie dziękuję mojej Żonie Ani, wyrozumiałości której zawdzięczam, że praca ta została ukończona.

Motto:

„Mierz co mierzalne, a niemierzalne uczyn mierzalnym.”

Andrzej Batko (za prof. Matuszkiewiczem)

"Blackthorn, little thorny one,

Dark provider of sloes."

Ballada irlandzka - autor nieznany

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	9
1.1. Obiekt badań	10
1.1.1. Charakterystyka gatunku i pozycja systematyczna	12
1.1.2. Ekologia i rozmieszczenie	15
1.1.3. Znaczenie tarniny	19
1.1.4. Zmienność tarniny a jej systematyka	20
1.1.5. Tarnina jako obiekt komputerowych badań biometrycznych	25
1.2. Komputerowa akwizycja danych	28
1.2.1. Wprowadzenie	28
1.2.2. Automatyzacja pozyskiwania danych	28
1.2.3. Paradygmat automatycznej biometrii	31
1.3. Cele pracy	37
2. MATERIAŁ	38
2.1. Stanowiska	38
2.1.1. Miejsca zbioru na terenie Polski	38
2.1.2. Dodatkowe miejsca zbioru spoza terenu Polski	44
2.1.3. Okazy innych taksonów rodzaju Prunus	45
2.2. Zbiór liści i skanowanie	47
2.3. Wektoryzacja sylwetek liści i pędów	51
2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne	52
2.5. Cechy klimatyczne stanowisk	55
3. METODY	57
3.1. Automatyczna biometria	57
3.1.1. Pozyskiwanie obrazów obiektów	57
3.1.1.1. Procedura skanowania	57
3.1.1.2. Uwagi o technologii skanowania	58
3.1.2. Wektoryzacja obrazów rastrowych	59
3.1.2.1. Algorytmy wektoryzacji	60
3.1.2.2. Algorytm oczyszczania obrazu	62
3.1.3. Pomiarów cech biometrycznych	63
3.1.3.1. Automatyczne pomiary klasycznych cech biometrycznych	64
3.1.3.2. Obliczanie cech fraktalnych	74
3.1.3.3. Obliczanie niezmienników momentów	79
3.1.3.4. Obliczanie Eliptycznych Współczynników Fouriera	81
3.1.3.5. Obliczanie liczby ząbków metodą „gramatyki kształtów”	82
3.2. Zastosowane metody analizy danych	84
3.2.1. Elementarna statystyka opisowa	84
3.2.2. Zawansowane metody statystyki parametrycznej	85
3.2.3. Wykresy i zestawienia	85
3.2.4. Klasyczne metody eksploracyjnej analizy danych i analizy skupień	85
3.2.4.1. Miary odległości	85
3.2.4.2. Metody analizy skupień i relacji między obiektami	87
3.2.5. Niestandardowe metody eksploracyjnej analizy danych	87
3.2.5.1. Klasyfikacja niehierarchiczna algorytmem genetycznym i uzgodniona klasyfikacja niehierarchiczna	87
3.2.5.2. Testowanie klasyfikacji z użyciem metody najbliższego sąsiada albo walidacja krzyżowa metodą najbliższego sąsiada	88
3.2.5.3. Uzyskiwanie optymalnego zestawu cech odzwierciedlających zadaną klasyfikację metodą nieparametrycznej analizy dyskryminacyjnej	90
4. WYNIKI I DYSKUSJA	94
4.1. Analiza zmiennych i związków między zmiennymi	94
4.2. Analiza założonych preklasyfikacji liści	98
4.2.1. Analiza podziału liści wg typów pędów	98
4.2.2. Analiza podziału liści wg stanowisk	103

4.2.3. Walidacja krzyżowa podziału liści wg stanowisk.....	114
4.3. Analiza morfotypów	116
4.3.1. Przygotowanie danych na podstawie średnich cech egzemplarzy	116
4.3.2. Określenie przynależności okazów do morfotypów i ich udziałów w populacjach lokalnych ..	117
4.3.3. Morfotypy a poszczególne zmienne biometryczne.....	125
4.3.4. Analiza czynnikowa.....	132
4.4. Odniesienie morfotypów <i>Prunus spinosa</i> do innych gatunków i odmian śliw	135
4.4.1. Morfometryczna analiza liści sztucznych mieszańców	135
4.4.2. Analiza porównawcza okazów tarniny i okazów innych śliw	137
4.5. Wpływ czynników abiotycznych na cechy morfologiczne.....	141
4.5.1. Czynniki abiotyczne stanowisk, a wartości cech biometrycznych	141
4.5.2. Czynniki abiotyczne stanowisk, a przynależność okazów do poszczególnych morfotypów	143
4.6. Dyskusja podsumowująca.....	145
BIBLIOGRAFIA	149
Dodatek A – szczegółowe lub zbyt duże tablice i wykresy.....	160
Dodatek B - program CLAGEN.....	187
B 1. Problem jakości metod klasyfikacji	187
B 2. Klasyfikacja niehierarchiczna za pomocą algorytmu genetycznego	188
B 1.1. Wprowadzenie	188
B 2.2. Algorytm zrealizowany w programie CLAGEN.....	188
Dodatek C - Spis tabel	192
Dodatek D - Spis rycin	194
Dodatek E - Skróty	198
Dodatek F – Zestawienie kategorii hierarchii taksonomicznej.....	200
Dodatek G - Zestawienie różnych opisów <i>P. spinosa</i> i gatunków pokrewnych.....	201

PRZEWODNIK

1. WSTĘP

W rozdziale „1.1. Obiekt badań” przedstawiono szczegółowo obiekt badań - śliwę tarninę (*Prunus spinosa* L.). Omówiono jego pozycje systematyczną, ekologię, rozmieszczenie, znaczenie przyrodnicze i gospodarcze, a następnie dokonano przeglądu wcześniejszych badań nad systematyka tego taksonu, będących w związku z jego dużą zmiennością.

W rozdziale „1.2. Komputerowa akwizycja danych” zamieszczono wprowadzenie do metod użytych w pracy, w szczególności opisując „paradygmat automatycznej biometrii” czyli zastosowanego w pracy połączenia komputerowych metod akwizycji danych z ich analizą eksploracyjną i statystyczną.

W podrozdziale „1.1.5. Tarnina jako obiekt komputerowych badań biometrycznych” przedstawiono powody, dla których właśnie tarninę wybrano jako obiekt badań.

Cele pracy wyszczególniono w ostatnim rozdziale tej części „1.3 Cele pracy”.

2. MATERIAŁ

W części tej przedstawiono charakterystykę materiału jaki został użyty w pracy. Opisano miejsca zbioru (2.1. Stanowiska) okazów tarniny na terenie Polski i poza nią (2.1.2. Dodatkowe miejsca zbioru spoza terenu Polski) oraz okazów gatunków pokrewnych (2.1.3. Okazy innych taksonów rodzaju *Prunus*) zebranych w celach porównawczych. Następnie szczegółowo opisano przyjętą procedurę zbioru materiału oraz schematy postępowania i parametry zastosowane przy jego ocyfrowywaniu („2.2. Zbiór liści i skanowanie”, „2.3. Wektoryzacja sylwetek liści i pędów.”).

Przedstawiono wreszcie zestaw cech biometrycznych, które mierzono w materiale lub wyliczano na podstawie wielkości zmierzonych (2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne) oraz cechy opisujące stanowiska (2.5. Cechy klimatyczne stanowisk).

3. METODY

Wśród użytych metod pomiarów i analizy znaczną część stanowią rozwiązania jeszcze nie stosowane powszechnie, przeniesione z innych dziedzin nauki lub zupełnie nowe, oryginalne dla tej pracy. Dlatego część ta jest stosunkowo obszerna i mocno związana z informatyką.

W rozdziale „3.1. Automatyczna biometria” przedstawiono szczegółowo procedury związane z automatycznymi pomiarami liści i pędów. Opisano zaimplementowane przez autora algorytmy wektoryzacji oraz pomiaru cech biometrycznych - zarówno te całkowicie nowe, wcześniej nie publikowane, jak i te, których implementacje oparto na pracach innych autorów.

W rozdziale „3.2. Zastosowane metody analizy danych” wyszczególniono wszystkie zastosowane metody analizy danych oraz opisano zaprojektowaną przez autora nieparametryczną analizę dyskryminacyjną (3.2.5.3. Uzyskiwanie optymalnego zestawu cech odzwierciedlających zadaną klasyfikację metodą nieparametrycznej analizy dyskryminacyjnej).

4. WYNIKI I DISKUSJA

W części tej przedstawiono różnorodne analizy danych pomiarowych materiału oraz bezpośrednią interpretację ich wyników.

W rozdział „4.1. Analiza zmiennych i związków między zmiennymi” poświęcony jest badaniom rozkładów zmiennych biometrycznych i ich związków (korelacji).

W rozdziale „4.2. Analiza założonych preklasyfikacji liści” przedstawiono zależności między zmiennymi biometrycznymi, a założonymi klasyfikacjami liści wg ich pochodzenia anatomicznego (4.2.1. Analiza podziału liści wg typów pędów), geograficznego (4.2.2. Analiza podziału liści wg stanowisk, 4.2.3. Walidacja krzyżowa podziału liści wg stanowisk). W rozdziałach tych przedstawiono, między innymi, wyniki klasycznej dla polskiej biometrii metody profili kształtów prof. Jentys-Szaferowej.

W rozdziale „4.3. Analiza morfotypów” opisano próbę wyróżnienia morfotypów w zmierzonym zbiorze okazów tarniny, i zbadania związków poszczególnych morfotypów z lokalnymi populacjami. Omówiono też związki morfotypów z poszczególnymi zmiennymi biometrycznymi (4.3.3. Morfotypy a poszczególne zmienne

biometryczne) i pokazano próbę odnalezienia czynników metodą PCA (4.3.4. Analiza czynnikowa).

W rozdziale „4.4. Odniesienie morfotypów *Prunus spinosa* do innych gatunków i odmian śliw” zbadano na podstawie morfologii liści i pędów wzajemne relacje taksonów rodzaju *Prunus* i poszczególnych morfotypów tarniny w celu sfalsyfikowania hipotezy o ich mieszańcowej genezie.

W rozdziale „4.5. Wpływ czynników abiotycznych na cechy morfologiczne” wykazano możliwość istnienia realnych związków między morfologią tarniny a abiotycznymi cechami stanowisk.

Wreszcie w rozdziale „4.6. Dyskusja podsumowująca” przedstawiono ostateczne wnioski wypływające z przeprowadzonych analiz.

DODATKI:

Nie wszystkie istotne dla pracy informacje mogły być zamieszczone w głównym tekście. Te, których przekazanie nie wydaje się niezbędne dla jego zrozumienia, ale może jednak okazać się ważne umieszczone w dodatkach.

„Dodatek A – szczegółowe lub zbyt duże tablice i wykresy” przedstawia te wyniki pomiarów i analiz, które dla głównego wątku były zbyt obszerne lub nadmiernie redundantne w stosunku do informacji przekazanych w inny sposób.

„Dodatek B - program CLAGEN.” opisuje obszernie algorytm klasyfikacji realizowany przez używany w pracy program CLAGEN.

„Dodatek C - Spis tabel” oraz „Dodatek D - Spis rycin” - zestawienie wszystkich podpisów pod rycinami i tabelami.

„Dodatek E” stanowi spis skrótów nazw stanowisk i nazw cech stosowanych niekiedy w tekście i na wielu wykresach. Dodatek ten jest także załączony jako zakładka na przezroczystej folii.

„Dodatek F” zawiera zestawienie kategorii systematyki botanicznej pomocne dla czytelników nie będących botanikami.

Wreszcie w części „Dodatek G” zamieszczono tabelaryczne porównanie taksonów, które z przyczyn technicznych nie mogło być drukowane razem z tekstem.

1. WSTĘP

Systematyka postrzegana jest niekiedy jako najbardziej konserwatywna dziedzina biologii. Tymczasem nie jest to prawda. Rzeczywiście od dziesięcioleci zasadniczym zmianom nie uległy cele systematyki, tj. klasyfikowanie (m.in. tworzenie pojęć w celu umożliwienia sprawnej komunikacji), uogólnianie (odkrywanie zależności empirycznych), stawianie hipotez (rola heurystyczna) i budowanie drzew rodowych, co zdaje się świadczyć o nieprzemijającym znaczeniu tej dziedziny. Jednak tak jak w genetyce, biochemii czy ekologii również w taksonomii biologicznej metodyka bardzo wzbogaciła się w XX wieku, a szczególnie w ciągu ostatniego ćwierćwiecza.

Współczesna systematyka roślin odchodzi coraz bardziej od opierania się jedynie na obserwacjach i intuicjach ekspertów w kierunku danych obiektywnych. Coraz śmieiej też wykorzystywane są techniczne środki służące do zdobywania, gromadzenia, opracowywania i udostępniania informacji – w szczególności środki informatyczne.

Jedną z pierwszych dziedzin botaniki, która dostarczyła systematyce obiektywnych danych, była biometria. Analiza biometryczna populacji pozwala na określenie płaszczyzn zmienności danego taksonu: siedliskowej, geograficznej, czy związanej z wymianą genów z pokrewnymi taksonami (hybrydyzacja). Zbadanie zakresu i rozkładu zmienności taksonu, ustalenie znaczenia poszczególnych czynników wpływających na zmienność, wreszcie zestawienie jej z analogicznymi informacjami o taksonach pokrewnych pozwala na zweryfikowanie jego spójności i ewentualne dokonanie rewizji taksonomicznej.

Choć cele i podstawowa metodologia biometrii nie zmieniły się znacząco od jej powstania, zmieniły się bardzo techniki. Obrazowo - do opracowywania wyników można dziś, zamiast przysłowiowego ołówka i kartki, wykorzystywać komputer z jego bogatym arsenałem statystycznym. Podobnie, papierowe notatki zostały zastąpione przez dane na komputerowych dyskach. Wreszcie, choć do niedawna nie było to oczywiste, komputer można wykorzystać do samego zbierania danych zamiast linijki i cyrkla – jeśli zostanie wyposażony w kamerę lub skaner i oprogramowanie do analizy obrazów.

Warsztat współczesnego biometry daje możliwość podejmowania zagadnień systematyczno-morfometrycznych, trudnych lub wręcz niemożliwych do analizy z

użyciem tradycyjnych technik. Dla przykładu, w ciągu ostatniego ćwierćwiecza w Zakładzie Zmienności Roślin Instytutu Botaniki PAN w Krakowie wykonano szereg prac poświęconych zmienności krajowych gatunków drzew i krzewów (STASZKIEWICZ 1997). W czasie ich wykonywania napotymano wszakże na wiele barier, szczególnie jeśli chodzi o etap „zdobywania danych”. Dlatego pomijano w tych pracach, albo przedstawiano w sposób uproszczony, pewne aspekty morfologii zbyt trudne do „ręcznego” opracowania. Dotyczyło to choćby niewygodnej do oceny ilościowej cechy złożoności blaszki liściowej, zamiast której mierzono np. szerokość i wysokość ściśle określonego ząbka czy kłapy liścia. Badania biometryczne oparte na wąskim zestawie prostych cech mogą być niekiedy zbyt ubogim źródłem danych by prowadzić do konkluzywnych wniosków, lub też prowadzone tradycyjnymi metodami wymagają zaangażowania zbyt dużych zasobów ludzkich i materialnych.

Trudności te można ominąć właśnie przez zastosowanie automatycznego pozyskiwania danych biometrycznych w taksonomicznych badaniach zmienności, co jednak związane jest z dwiema odległymi dziedzinami nauki. Problematyka badań ma swe źródło w systematyce botanicznej, dziedzinie niewątpliwie biologicznej, natomiast używane metody, często wyspecjalizowane i oryginalne, sięgają do takich dziedzin jak rozpoznawanie obrazów (*pattern recognition*), analiza wielozmiennowa (*multivariate analysis*) i taksonomia numeryczna, które zaliczane są raczej do szeroko rozumianej informatyki (*computer science*).

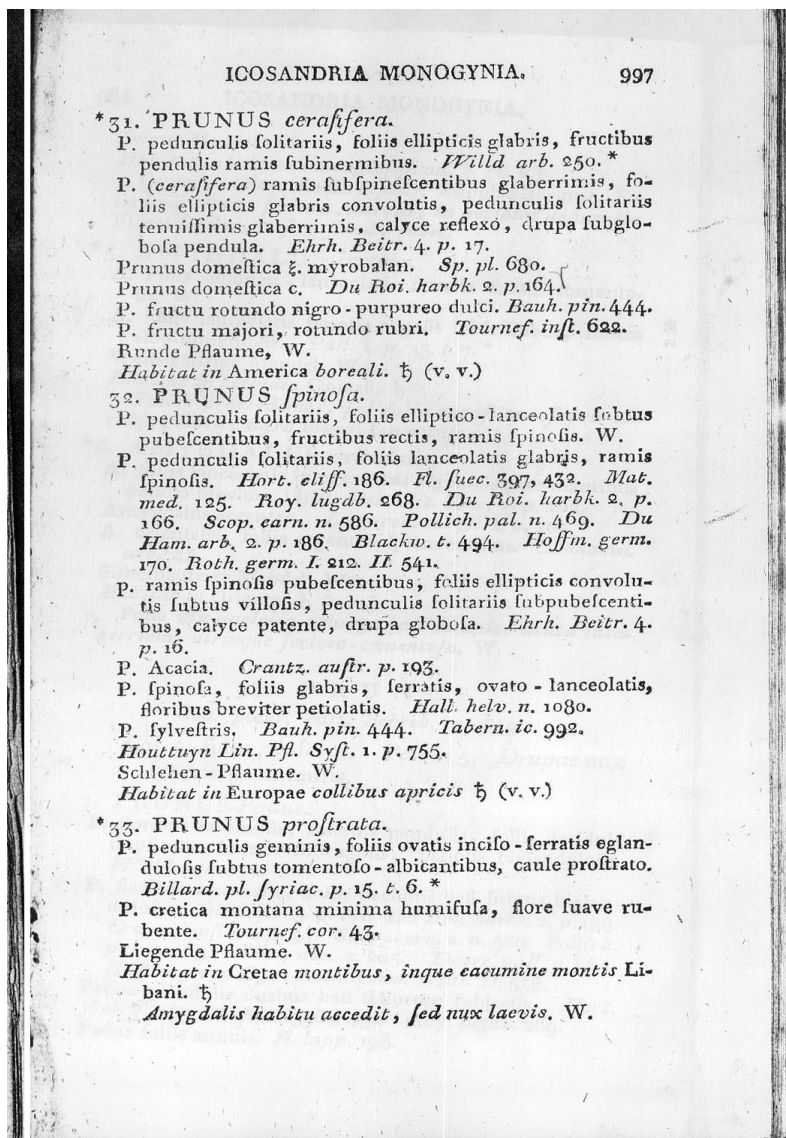
Do tej pory prace obejmujące obie te dziedziny były bardzo nieliczne i wykonywane w niewielkim zakresie. Natomiast przedstawione tu badania pozwalają pokazać korzyści płynące z zastosowania automatycznego pozyskiwania danych biometrycznych do złożonego zagadnienia. Tarnina - *Prunus spinosa* L., będąca obiektem tych badań, jest bowiem gatunkiem bardzo zmiennym pod względem cech morfologicznych i przez to bardzo trudnym do badań taksonomicznych.

1.1. Obiekt badań

Prunus spinosa L., czyli śliwa tarnina, jest jednym z najpowszechniej występujących krzewów Europy i obszaru śródziemnomorskiego. Znana jest nawet

laikom ze względu na spektakularne i wczesne kwitnienie, jak i na cierpkie owoce oraz zazwyczaj duże i liczne ciernie¹.

Tarnina została opisana już przez Linneusza (Ryc. 1) i mimo że od tamtego czasu zajmowało się nią wielu systematyków wciąż budzi kontrowersje taksonomiczne (por. „1.1.4. Zmienność tarniny a jej systematyka”).



Ryc. 1. Strona z opisem *Prunus spinosa* L. w tomie drugim czwartego wydania „Species plantarum” Linneusza.

¹ Zarówno łaciński epitet gatunkowy „*spinosus*”, jak też nazwy narodowe nawiązują zazwyczaj do dającej się łatwo zauważyć ciernistości tego krzewu. W języku angielskim *blackthorn* lub niemieckim *Schlehdorn* lub *Schlehe*, rosyjskim *слива колючая* albo *терн*. Podobnie nazwa polska i czeska pochodzą od starsłowiańskiego brzmienia słowa „cierń”.

Prunus spinosa L. jest przedstawicielem wąsko rozumianego rodzaju *Prunus* w podrodzynie *Prunoideae* rodziny *Rosaceae* (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955). Zwolennicy szerokiego ujmowania rodzaju *Prunus* (KRÜSSMANN 1986) plasują go w podrodzaju *Prunus* i sekcji *Euprunus*.

Najbliższymi krewnymi tarniny są *Prunus cerasifera* EHRH, *P. cocomilia* TEN, *P. curdica* FENZL & FRITSCH, *P. domestica* L., *P. x gigantea* (SPATH) KOEHNE, *P. insititia* L., *P. salicina* LINDL., *P. ussuriensis* KOV. & KOST. (KRÜSSMANN 1986). Nieco dalszymi krewnym są przedstawiciele sekcji *Prunocerasus* (np. *P. americana*) i sekcji *Armeniaca* (np. *P. armeniaca* - morela), natomiast dalszymi przedstawiciele pozostałych podrodzajów: *Cerasus* – wiśnia, *Amygdalus* – migdałowiec, *Persica* – brzoskwinia, *Padus* – czeremcha, *Laurocerassus* – laurowiśnia.

1.1.1. Charakterystyka gatunku i pozycja systematyczna

Poniżej przytoczono charakterystykę gatunku wg „Flora Europea”² (TUTIN I IN. 1968):

„***P. spinosa* L.** – Gęsty krzew do 4m, rozprzestrzeniający się przez odrosty, z licznymi rozwidlonymi³, pogmatwanymi i ciernistymi gałęziami; kora czarniawa, młode gałązki zwykle omszone. Liście 2-4cm, odwrotnie-jajowate do odwrotnie-lancetowatych, delikatnie karbowane lub piłkowane⁴, klinowate u podstawy, matowo zielone i nagie z wierzchu, często omszone na żyłkach pod spodem. Kwiaty najczęściej pojedynczo, pojawiające się przed liśćmi, bardzo liczne, szypułka 5mm, gładka; płatki 5-8mm, białe. Owoce 10-15mm, kuliste, wyprostowane, niebieskawo-czarne, bardzo oszadziłe⁵, kwaśne i ściągające, endokarp prawie kulisty, gładki lub lekko pomarszczony. [liczba chromosomów] 2n=32. W Europie (...) poza północnym wschodem i daleką północą.

Stwierdzono naturalne mieszańce z ***P. domestica* subsp. *insititia*** z [liczbą chromosomów] 2n=40. Przynajmniej część roślin nazwanych ***P. fruticans***

² Cytowana jest tu „Flora Europaea” jako źródło obejmującym nominalnie prawie cały zasięg gatunku, a ponadto stosunkowo nowe i wyważone. Przytoczony tekst jest dokładnym tłumaczeniem wersji angielskiej opisu.

³ *divaricate and intricate*

⁴ *crenate or serrate*

Weihe, *Flora(Regensb.)*9:748(1826), to właśnie takie hybrydy. Ponieważ jednak obie formy rodzicielskie są zmienne i raczej podobne, morfologiczne odgraniczenie hybryd jest prawie niemożliwe.”

(Inne źródła różnią się w szczegółach opisu gatunku, co rozważono bliżej w rozdziale „1.1.4. Zmienność tarniny a jej systematyka”.)



Ryc. 2. Pędy i ciernie *Prunus spinosa* L. w różnych fazach cyklu wegetacyjnego (fot. B. Dubielecka i I. Moraczewski)

Wśród europejskich i bliskowschodnich gatunków śliw tarnina zajmuje pozycję szczególną. Jest jedyną formą dziką o zasięgu kontynentalnym. Częściowo zasięg ten pokrywa się z zasięgami kilku gatunków pokrewnych (TUTIN I IN. 1968; KRÜSSMANN 1986):

- *Prunus ramburii* BOISS, na południu Hiszpanii (Sierra Nevada, Sierra del Gador),
- *Prunus cocomillia* TEN. (*P. pseudoarmeniaca* HELDR & SART EX. BOIS) w górach południowej części półwyspu Bałkańskiego, na pd. Włoch i na Sycylii.

⁵ *prunoise*

- *Prunus brigantina* VILL. IN L. , w pd. zach. Alpach powyżej 1200m n.p.m. i na północ do 45° szer. geograficznej płn.
- *Prunus curdica* FENZL & FRITSCH, w Pd. Armenii czyli Armeńskim Kurdystanie.
- *Prunus cerasifera* EHRH. (incl. *P. divaricata* LEDEB), w Azji Mniejszej, na Kaukazie i na Krymie.

Ponadto za sprawą człowieka dzikie formy⁶ *P. spinosa*⁷ na całym obszarze swego występowania współlistnieją z różnymi hodowlanymi formami śliw. Prawdopodobnie mniejsze znaczenie mają tu stosunkowo rzadkie kultywary samej tarniny oraz ałyczy (*Prunus cerasifera*), natomiast z pewnością duże różnorodne odmiany *Prunus domestica* L. z jej dwoma podgatunkami:

- subsp. *domestica* (subsp. *oeconomica* (BORKH.) C. K. Schneider), czyli węgierka i formy podobne,
- subsp. *insititia* (L.) C. K. SCHNEIDER czyli renkloda (var. *italica*) i mirabelka (var. *myrabolana*).

Wymienione gatunki oraz *P. spinosa* łączą złożone i nie do końca wyjaśnione więzy pokrewieństwa. Dwa z pośród nich, a mianowicie *Prunus ramburii* BOISS wg „Flora Europea” (TUTIN I IN. 1968), a *Prunus curdica* FENZL & FRITSCH wg DOMINA (1945) i wg „Flory ZSRR”(KOMAROW 1964) być może są skrajnymi podgatunkami *P. spinosa* L. Sama *P. spinosa* jako tetraploid pochodzi prawdopodobnie od jakiegoś gatunku diploidalnego. Część przesłanek wydaje się wskazywać, że gatunkiem tym była *P. cerasifera* lub jej bezpośredni przodek. Obszarem gdzie powstała *P. spinosa* był prawdopodobnie Kaukaz lub Zakaukazie (DOMIN 1945). Ponadto „Flora ZSRR” (KOMAROW 1964) podaje że „tarnina bardzo łatwo krzyżuje się z ałyczą (*Prunus cerasifera*) dając zarówno całkowicie sterylne jak i całkowicie płodne mieszańce” o innych liczbach chromosomów (patrz Tab. 1) opisywane pod nazwą *Prunus media* KOV.. Przyjmuje się za udowodnione, że *Prunus domestica* L. jest heksaploidem powstałym z

⁶ Słowo forma jest tu i dalej używane w sensie ogólnym, a nie ściśle systematycznym czyli taksonu *forma* o randze poniżej odmiany (*varietas*).

⁷ W dalszej części tekstu, dla uproszczenia, nazwa rodzajowa „*Prunus*” będzie niekiedy skracana do „*P.*”, a przedstawione już nazwiska autorów taksonów pomijane.

dawnego skrzyżowania *P. spinosa* (tetraploid) z *P. cerasifera* (diploid), a następnie sztucznej selekcji w kierunku polepszenia wartości użytkowych owoców (RYBIN 1936; ENDLICH, MURAWSKI 1962). Wreszcie pod nazwą *Prunus fruticans* Weihe opisane zostały krzyżówki wsteczne *P. spinosa* x *P. domestica* subsp. *insititia* (TUTIN I IN. 1968).

Tab. 1. Liczba chromosomów niektórych taksonów w obrębie rodzaju *Prunus*.

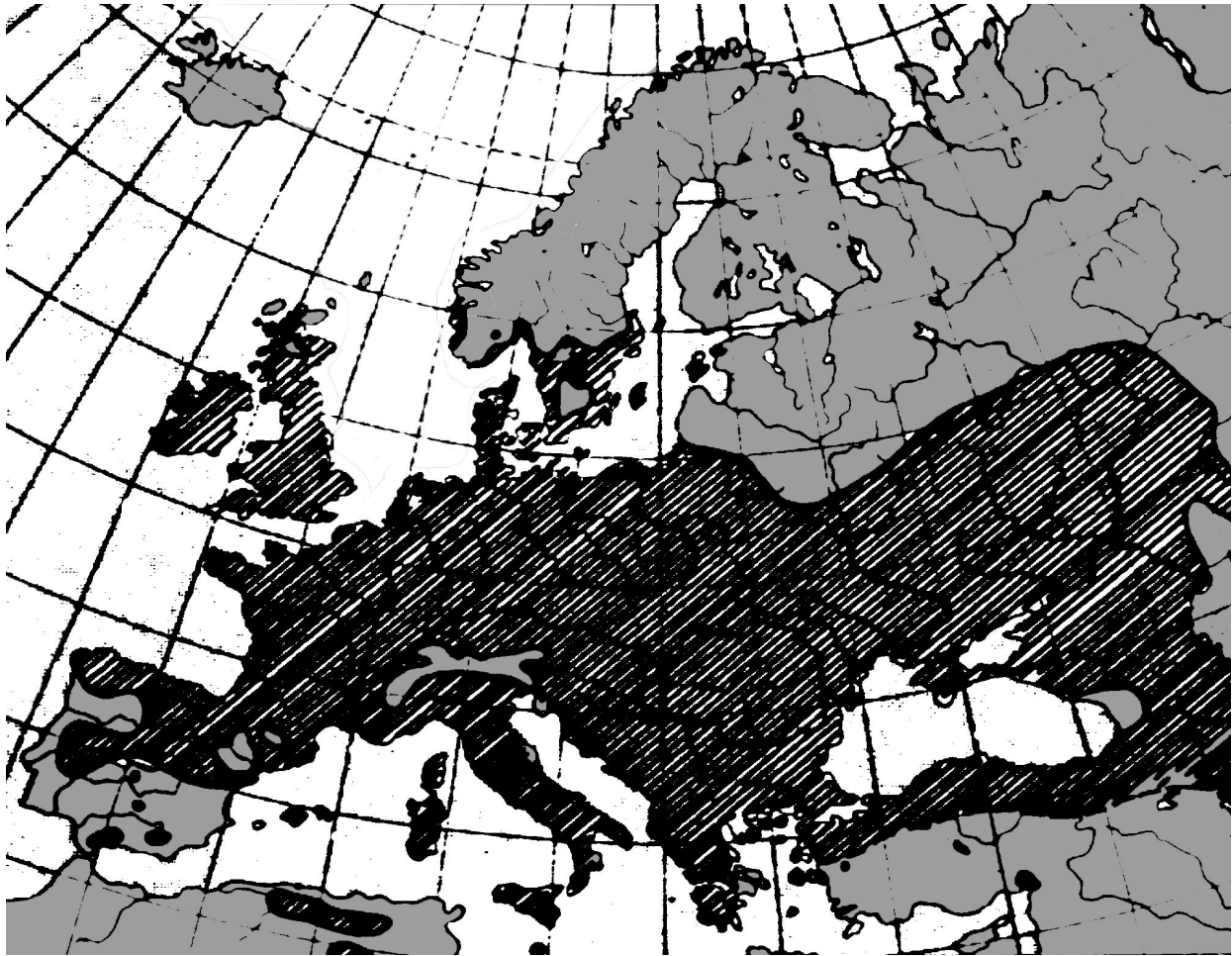
<i>P. spinosa</i> L.	2n = 32
<i>P. cerasifera</i> EHRH	2n = 16
<i>P. media</i> KOV.	2n = 24 lub 32
<i>P. domestica</i> L. (<i>P. domestica</i> subsp. <i>domestica</i>)	2n = 48
<i>P. insititia</i> L. (<i>P. domestica</i> subsp. <i>insititia</i>)	2n = 48
<i>P. fruticans</i> WEIHE (<i>P. spinosa</i> x <i>P. domestica</i> subsp. <i>insititia</i>)	2n = 40

Sprawa powszechności występowania mieszańców *P. spinosa* L. z innymi gatunkami śliw i ich roli florystycznej nie jest zadowalająco wyjaśniona. Prawdopodobnie w wyniku obserwacji takich mieszańców, interpretowanych jako formy pośrednie, wzięły się dawne sugestie dołączenia *P. spinosa* L. do *P. domestica* jako subsp. *esculenta* (KUNTZ 1867), a jeszcze wcześniej propozycje połączenia *P. domestica* L., *P. insititia* L. i *P. spinosa* L. w jeden gatunek *Prunus polymorpha* (SPENNER 1829).

Problem potencjalnego znaczenia mieszańców dla badań taksonomicznych *P. spinosa* będzie jeszcze omówiony w dalszej części (patrz „1.1.4. Zmienność tarniny a jej systematyka”).

1.1.2. Ekologia i rozmieszczenie

Prunus spinosa L. jest gatunkiem światłolubnym, ciepłolubnym, dobrze znoszącym suszę, ale także chłody. Rośnie „w zaroślach, na miedzach, na pastwiskach, na skarpach, na słonecznych zboczach dolin rzecznych, na skałach wapiennych, na brzegach lasów, w głąb lasów wchodząc rzadko. Najlepiej odpowiadają mu gleby żyzne, mineralne, gliniaste z dużą zawartością wapnia. (Tu i dalej wg „Atlasu rozmieszczenia drzew i krzewów”, BROWICZ (red.), GOSTYŃSKA-JAKUSZEWSKA (oprac.) 1976).



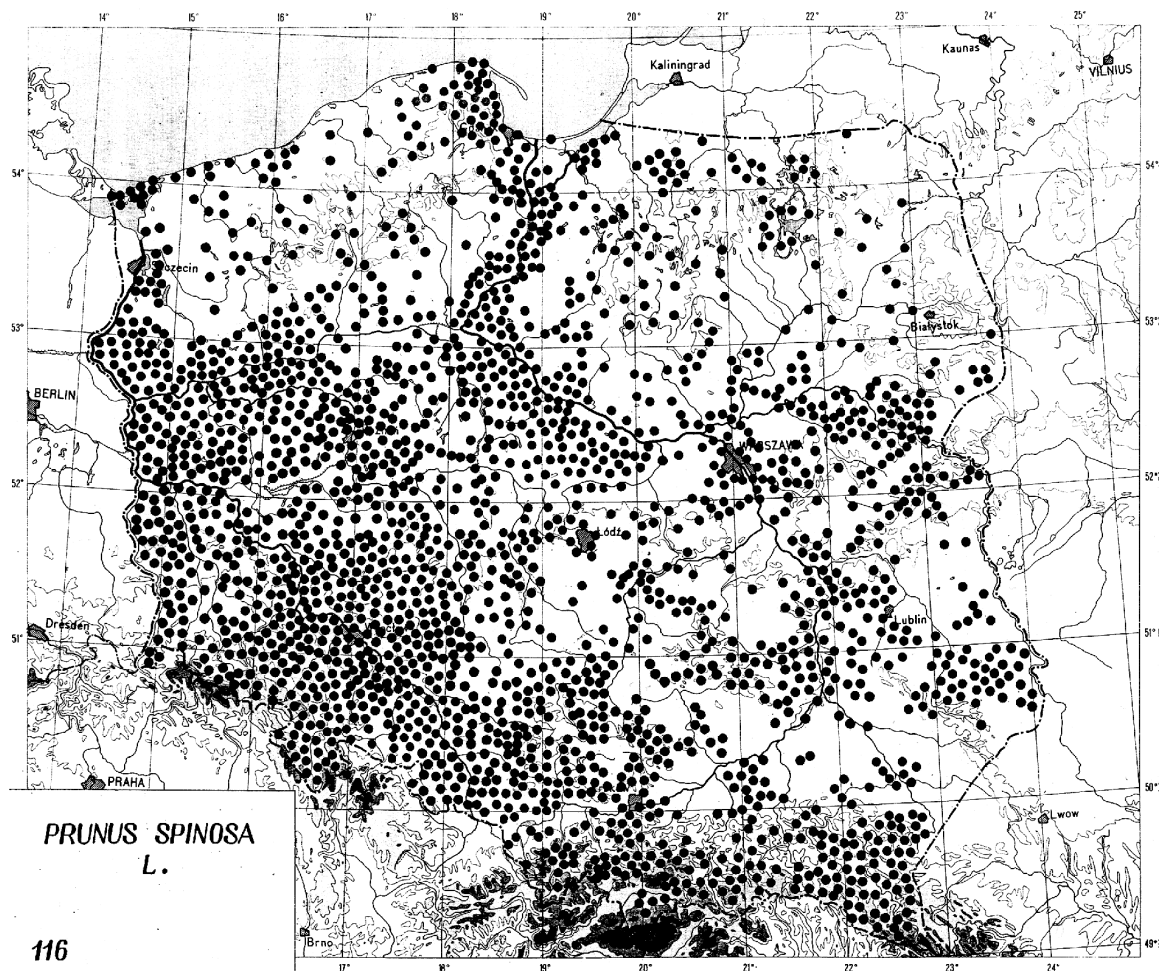
Ryc. 3. Rozmieszczenie *Prunus spinosa* L. w Europie (obszar pokryty szrafem). Wg „Atlasu rozmieszczenia drzew i krzewów w Polsce” (BROWICZ (RED), GOSTYŃSKA-JAKUSZEWSKA 1976).

Zalicza się ją do gatunków charakterystycznych klasy *Querceto-Fagetea*. Na obszarze całego zasięgu tworzy zarośla na obrzeżach lasów, głównie liściastych (np. *Potentillo albae-Quercetum*), czasem iglastych. Wchodzi w skład zespołu ciepłolubnych zarośli ze związku *Berberidion* (BROWICZ, GOSTYŃSKA-JAKUSZEWSKA 1976, OBERDORFER 1949, 1990). Ponadto rośnie na zboczach w mezofilnych i kserotermicznych zaroślach zaliczanych do rzędu zespołów *Prunetalia spinosae* np. *Pruno-Crataegetum* HUECK (1931) - najszerzej rozpowszechnionego zbiorowiska zaroślowego w Wielkopolsce (WOJTERSKA 1990). Może też wchodzić w skład zarośli z udziałem dębu omszonego (*Quercus pubescens* WILLD.) zaliczanych do zespołu *Querceto-Lithospermetum subboreale* (np. w Bielinku nad Odrą), a we wschodniej części zasięgu, w strefie lasostepów może tworzyć wspólnie z klonem tatarskim zespoły rozległych zarośli *Aceri tatarici-Quercion* (HORVAT I IN. 1974).

Trzeba też zauważyć, że zbiorowiska zaroślowe z *Prunus spinosa* L. często są pochodzenia półnaturalnego lub blisko sąsiadują ze zbiorowiskami o charakterze typowo synantropijnym jak pola, pobocza dróg czy nasypy kolejowe (WOJTERSKA 1990, ŻUKOWSKI I IN.1995; oraz obserwacje własne). Tarnina sama też bywa składnikiem roślinności synantropijnej w obrębie ludzkich osiedli, choć przynajmniej część okazów ze zbiorowisk synantropijnych jest na tyle nietypowa, że może być pochodzenia mieszańcowego (MIDDLETON 1998, HAEUPLER, SCHÖNFELDER 1988), co obserwował również autor w trakcie pracy w terenie.

Prunus spinosa L. występuje prawie w całej Europie (Ryc. 3), za wyjątkiem jej części północnej, oraz w pd. zach. Azji. Na południu zwarty zasięg kończy się na północno zachodnim Iranie, północnej Turcji i północnej Hiszpanii. Dalej na południu pojawiają się izolowane obszary występowania np. w Afryce, w górach Atlas. Na wschodzie gatunek występuje prawie aż po Ural, na zachodzie sięga środkowej Portugalii. Od strony północnej zasięg jest zróżnicowany. Od zachodu, najprawdopodobniej ze względu na łagodzący wpływ Atlantyckiego Prądu Zatokowego, gatunek sięga aż po 60-61 stopień szerokości geograficznej północnej obejmując całość wysp Brytyjskich i południową Skandynawię. Dalej na wschód północna granica zasięgu cofa się w okolice 55 stopnia szerokości geograficznej północnej. Oznacza to że, północna granica zasięgu przebiega niedaleko od północno-wschodniej granicy Polski. Jest to gatunek raczej niżowy, w górach sięga do górnej granicy występowania buka, najwyżej na Kaukazie – do 1600 m n.p.m., do 1360 m n.p.m. w Tyrolu i do 1100 m n.p.m. w górach Bawarii i w Tatrach Zachodnich.

Na terenie naszego kraju jest to gatunek dosyć pospolity zarówno na całym niżu, wyżynach, jak i w niższych położeniach górskich. Poza stanowiskami w Tatrach Zachodnich (do 1100 m n.p.m.), najwyżej położone stanowiska notowane były w Bieszczadach (Wołosz 1045 m n.p.m.) i na Wzniesieniu Gubałowskim (Dziadówka 860 m n.p.m.). Jak można zauważyć (Ryc. 4), gęstość zasiedlenia tarniny na terenie Polski wyraźnie maleje w kierunku północno-wschodnim. Może być to spowodowane niesprzyjającymi warunkami klimatycznymi w związku z pobliską granicą zasięgu oraz (być może) odmiennym charakterem zbiorowisk roślinnych związanych z krajobrazem młodo-glacialnym (obserwacja autora pracy).



Ryc. 4. Rozmieszczenie *Prunus spinosa* L. w Polsce (czarne kropki) wg „Atlasu rozmieszczenia drzew i krzewów w Polsce” (BROWICZ (RED), GOSTYŃSKA-JAKUSZEWSKA 1976).

Ponadto trzeba zwrócić uwagę że z powodu istniejących kontrowersji taksonomicznych (patrz „1.1.1. Charakterystyka gatunku i pozycja systematyczna“ oraz „1.1.4. Zmienność tarniny a jej systematyka“) związanych ze zdolnością tarniny do tworzenia trudnych do rozpoznania naturalnych mieszańców do sprawy jej zasięgu należy podchodzić nader ostrożnie. Niektóre nowsze źródła dają temu wyraz traktując *Prunus spinosa* L. jako gatunek *sensu lato* lub kompleks z *P. x fruticans* WEICHE (np. „Atlas der Farn- und Blütenpflanzen der Bundesrepublik Deutschland”, HAEUPLER, SCHÖNFELDER 1988).

1.1.3. Znaczenie tarniny

Jako roślina pospolita w Europie, tarnina miała duże znaczenie dla człowieka (np. DIETSCH 1996) od czasów prehistorycznych. Niezależnie od eksploatacji populacji naturalnych tarnina jest też od starożytności hodowana.

Istnieją odmiany ozdobne 'Plena', 'Purpurea', 'Variegata', 'Rosea' (*P. cerasifera* 'Nigra' × *P. spinosa*). Ponadto w bezpośrednim sąsiedztwie siedzib ludzkich często spotyka się też formy o większych i mniej cierpkich owocach potocznie też zwane „tarniną”, a być może będące okazami *P. x fruticans* WEICHE.

Tarnina była jednym z gatunków macierzystych dla śliw hodowlanych (*Prunus domestica* subsp. *domestica* oraz subsp. *insititia*; RYBIN 1951; ENDLICH, MURAWSKI 1962). Nadal też może być traktowana jako rezerwuar naturalnej zmienności genetycznej w hodowli innych, cenniejszych gospodarczo gatunków śliw, ze względu na duże zróżnicowanie i szeroki zasięg (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955, KOMAROW 1964). Niektóre populacje (np. norweska), ze względu na wyjątkową odporność na mrozy mogą posłużyć do wyprowadzenia nowych odmian zdalnych do uprawy w surowych warunkach. Wiadomo także, że tarnina może być atakowana przez te same szkodniki i patogeny, które atakują śliwy użytkowe, a także inne nieco odległej spokrewnione gatunki użytkowe (HOLECOVA I DEGMA 1997; KEGLER I IN. 1998; POLAK 1998; BRUNT I IN. 1996), ale jej genetyczne zróżnicowanie może dawać szansę na odnalezienie genów odporności na takie infekcje.

Jak zauważa „Flora Polska” (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955) „znaczenie gospodarcze tarniny jest duże”. Może być stosowana do obsadzania nasypów i stoków, doskonale nadaje się na żywopłoty (Podobno Słowianie używali nasadzeń tarniny jako elementu struktury obronnej swoich grodów.), także jako krzew ozdobny - szczególnie w odmianach. Drewno ze względu na swoją twardość bywa stosowane do wyrobu galanterii drewnianej (np. lasek). W Rosji liście bywają dodawane do herbaty dla ich specyficznego aromatu. Duże znaczenie gospodarcze mają owoce – tzw. tarki. Zbierane po przemrożeniu tracą cierpki smak i mogą być stosowane do przetworów owocowych, suszone do kompotów, do produkcji octu, wreszcie w wielu krajach służą jako surowiec do sporządzania różnego rodzaju alkoholi. W Rosji (KOMAROW 1964) produkowane są z nich wina owocowe i wódka „терновка” (*tiernowka*), we Francji likier „prunelle”, na wyspach brytyjskich aromatyczna nalewka „sloe gin”, oraz wódka destylowana z przefermentowanych owoców, w Hiszpanii – w prowincji Navarra produkcja likieru „pacharán” jest jedną z ważniejszych gałęzi przemysłu (por. RUIZ 1990,1991,1996; FERNANDEZ-GARCIA I IN. 1998). Ponadto niedojrzałe owoce mogą być marynowane i używane jako zastępnik oliwek (Francja), a zarówno owoce jak i kwiaty mają znaczenie w medycynie ludowej i „alternatywnej”.

Tarnina miała duże znaczenie kulturotwórcze. W mitologii celtyckiej (druidzkiej) była uważana za drzewo święte, i po dziś dzień ma znaczenie w kulturze ludowej, szczególnie irlandzkiej. Później powszechnie sądzono, że koronę cierniową Jezusa zrobiono właśnie z tarniny. Stąd przypisywano jej związek z szatanem i znaczenie magiczne. Wiadomo że służyła w wielu gusłach i ludowych obrzędach w Europie zachodniej. W Anglii, w czasach „polowań na czarownice” (wiek XVI, XVII), jako ich narzędzie obrzędowe bywała tępiona, a także używana jako materiał na stopy. Ze względu na kontrastowe zestawienie czarnych, ciemnistych gałęzi z gęstym welonem białych kwiatów bywała też natchnieniem dla poetów.

1.1.4. Zmienność tarniny a jej systematyka

Rodzaj *Prunus* zawiera liczne gatunki o wielu cechach silnie zmiennych. Tarnina, podobnie jak wielu jej krewnych, nie jest wyjątkiem, co zauważają właściwie wszyscy autorzy poczynając już od początku XIX w. (np. WARLLROTH 1822, WEIHE 1826, cyt. za DOMIN 1945). Podkreślają to także prawie wszystkie współczesne źródła zawierające opisy tego gatunku. (TUTIN I IN. 1968; HEß, LANDOLT 1970; DOSTAL 1989)

Zastanawiające jest zestawienie tych różnych opisów choćby w porównaniu z opisem przytoczonym uprzednio za „Flora Europea” (TUTIN I IN. 1968, patrz „1.1.1. Charakterystyka gatunku i pozycja systematyczna”, por. też „Dodatek G”). Zatem *Prunus spinosa* L. może być niewysokim krzewem, czasami niskim drzewkiem osiagającym od 2 do 3 m (wg „Flora der Schweiz”, HEß, LANDOLT 1970), do 4 m („Nová květená CSSR”, DOSTAL 1989), do 6 m (wg „Flory Polskiej”, SZAFER, PAWŁOWSKI 1955), a nawet do 8 m („Flora ZSRR”, KOMAROW 1964). Jest zazwyczaj gęsto rozgałęziona, bardzo ciemista, i szeroko rozrastająca się dzięki licznym odroślom korzeniowym, ale bywają też formy o delikatnych długich cierniach, a przy tym znacznie bardziej „prześwietlone” (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955) a także formy całkowicie pozbawione cierni. Kolor kory podawany jest od czerwono brązowej i „czarniawej” (TUTIN I IN. 1968) do ciemnobrązowej (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955), aż po czarną (DOSTAL 1989). Młode pędy i liście często pokryte są krótkim kutnerem, który z wiekiem zanika albo całkowicie, albo pozostając jedynie na spodnich nerwach liści, albo też nie zanika i liście niektórych form są trwale owłosione (DOSTAL 1989). Kształt liści może być odwrotniejąowaty, eliptyczny lub lancetowaty (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955), rzadziej „podługowatoodwrotniejąowaty” (KOMAROW 1964), albo też odwrotnielancetowaty (TUTIN I IN. 1968), nasada jest zazwyczaj klinowata, a szczyt zaostrowany lub tępy, zaś krawędź liścia może być

piłkowana (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955) drobno karbowana⁸ (DOSTAL 1989), ząbkowana albo piłkowana⁹ (TUTIN I IN. 1968; KRÜSSMANN 1986). Rozmiary liści podawane są bardzo różnie. Długość od 2-4 cm (TUTIN I IN. 1968; DOSTAL 1989), albo do 5 cm (KOMAROW 1964) albo nawet 6.5 cm (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955). Szerokość zaś, jeśli jest podawana wynosi wg źródeł od 1 do 2.8 cm (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955), albo 50 do 66% długości (HEB, LANDOLT 1970). Białe kwiaty pojawiają się zwykle przed liśćmi, ale są formy (lub gatunki pokrewne) kwitnące jednocześnie z listnieniem (TUTIN I IN. 1968; DOSTAL 1989). Kwiaty mają średnicę 1-1.5 cm (TUTIN I IN. 1968) lub 1.2-1.8 cm (wg SZAFER, PAWŁOWSKI 1955). Również cechy i rozmiary owoców podawane są bardzo różnie. Wg większości źródeł jest on czarny lub granatowy z niebieskim woskowym nalotem, okrągły lub okrągławy (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955), albo kulisty (DOSTAL, 1989) lub nieco okrągło-stożkowaty¹⁰ (KOMAROW 1964), o średnicy 1-1.5 cm (TUTIN I IN. 1968), ok. 1.3 cm (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955) lub 0.8-1.0 cm u *P. spinosa* subsp. *spinosa* i do 1.8 cm a nawet do 2 cm u innych podgatunków (DOSTAL 1989). Pestki są prawie kuliste (DOSTAL 1989), eliptyczne lub jajowate z wyraźnymi żeberkami (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955), owalno-jajowate lub jajowate (KOMAROW 1964). Wreszcie miąższ jest zielony, przyrośnięty do pestki, cierpki (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955), słodko-kwaśny (KOMAROW 1964) a nawet ściągający i gorzki (TUTIN I IN. 1968), ale mogą też występować formy o większych owocach z miąższem słodkim (DOSTAL 1989). Autor niniejszej pracy może dodać do tej listy liczne własne obserwacje poczynione podczas zbioru materiału np. specyficzne „formy cieniste” rzadko się rozgałęziające i rzadko ulistnione, formy bez cierni, za to o dużych liściach, bardzo długich jednorocznych długopędach i dosyć dużych owocach, formy drzewiaste osiągające ponad 20 cm średnicy i 6 do 10 m długości (nachylonego) pnia, czy wreszcie obserwowane na południu Węgier krzewy o typowym, ale nadzwyczaj „solidnym” pokroju i słodkich owocach o czerwonym miąższu i średnicy ok. 15-18 mm.

Duża zmienność gatunku we wszystkich cechach morfologicznych zaowocowała już dawno próbami systematyzowania wewnątrzgatunkowego - wyróżnienia

⁸ Użyty termin „jemne vroubkovane” wg. słownika języka czeskiego może znaczyć “drobno, bądź delikatnie, ząbkowane, bądź nacinane, bądź karbowane”.

⁹ Używane są wyrażenia “*crenate and serrate*” albo “*finely crenate to serrate*”.

¹⁰ «конусовидные»

podgatunków i odmian w jego obrębie. Choć od dawna, przynajmniej deklaratorywnie, zdawano sobie sprawę że pewną rolę w zmienności gatunku mogą odgrywać naturalne mieszańce¹¹, nigdy nie doszło do dogłębnego zbadania tego zagadnienia. Formy podejrzane o pochodzenie mieszańcowe były nierzadko opisywane jako podgatunki lub odmiany *P. spinosa* L., albo też próbowano rozbić cały gatunek na coraz więcej mniejszych, trudnych lub niemożliwych praktycznie do odróżnienia (np. odróżnialnych jedynie na podstawie tak subiektywnych cech jak gęstość czy długość owłosienia).

WARLLROTH (1822), wyróżniał dwie odmiany *Prunus spinosa* var. *microcarpa* i var. *macrocarpa* wyrażając też przypuszczenie, że ta druga jest hybrydą.

AUG. PYR. DE CANDOLLE (1825) zmodyfikował diagnozy powyższych odmian i dodał dwie własne var. *vulgaris* i var. *ovata*. ROUY DE CAMUS (1900) próbując uporządkować dane wcześniejszych autorów z terenu Francji rozdzielał *P. spinosa* L. na 14 gatunków (!) z 11 odmianami i dodatkowo 4 formy o niejasnej przynależności.

Na Kaukazie taksonomią *P. spinosa* zajmował się MEDVEDEV (1883, 1888) opisując var. *puberula* oraz var. *typica* i var. *pubescens* (wg KOMAROW 1964), a później, w kontekście spontanicznych mieszańców i pochodzenia śliw hodowlanych RYBIN (1936).

Ostatecznie podsumowanie wcześniejszych prac oraz własnych badań dotyczących Czech i Moraw dał DOMIN (1945) W swojej pracy starał się na podstawie klasycznych badań swoich i wcześniejszych autorów stworzyć taką taksonomię tarniny, by była ona jednocześnie użyteczna i dawała wyraz wielkiej zmienności gatunku nawet w obrębie „czystych form” (a przynajmniej za takie uznawanych). Oddzielił od *P. spinosa* dwa taksony niewątpliwie mieszańcowe: europejską *P. fruticans* i kaukaską *P. Rybinii* a samą tarninę podzielił na szereg podgatunków: subsp. *euspinosa*, subsp. *moravica*, subsp. *megalocarpa*, subsp. *ovoideoglobosa*, subsp. *Fechtneri*, subsp. *dasyphylla*, a w ich obrębie wyróżnił kilkadziesiąt (!) odmian.

¹¹ Łatwość naturalnego tworzenia mieszańców nie jest niczym zaskakującym. Jest notowana zarówno u innych przedstawicieli podrodziny *Prunoide* np. u hodowlanych wiśni *Prunus cerasus* i czereśni *Prunus avium* (PRYWER 1936) czy też u dzikiej wisienki stepowej *Prunus fruticosa* (WÓJCICKI 1988) jak i w ogóle w całej rodzinie *Rosaceae*, np. w bardzo kłopotliwych dla systematyków rodzajach *Rosa* i *Rubus*.

Wydaje się, że powyższe rozróżnienia okazały się na tyle taksonomicznie nieuzasadnione i niepraktyczne, że właściwie nie przyjęły się we współczesnych opracowaniach. W starszym wydaniu „Flory Europy środkowej” (HEGI 1935) podawane są jedynie odmiany: var. *dasyphylla* SCHUR, var. *microcarpa* WALL, var. *macrocarpa*, „Flora Polska” (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955) cytuje za Hegim, uznając że var. *macrocarpa* jest być może efektem krzyżówki z hodowanymi lub dziczącymi gatunkami śliw *Prunus insititia* (*Prunus domestica* subsp. *intistitia*), lub *Prunus domestica* subsp. *domestica*, a inne opisane odmiany są prawdopodobnie raczej wynikiem zróżnicowanej reakcji na warunki zewnętrznych. Podobne stanowisko zajmuje „Flora ZSRR” (KOMAROW 1964) podając jeszcze var. *typica* MEDW. i var. *pubescens* MEDW. W dziele tym zwrócono też uwagę na łatwość krzyżowania się tarniny z ałyczą i to że „w źródłach nie-botanicznych pod nazwą tarnina (*мeрн*) mogą występować drobno owocowe, cierpkie w smaku odmiany *P. domestica*”.

Jedynie „Nová květená CSSR” (DOSTAL 1989) podaje podgatunki kierując się zdaniem DOMINA (1945) choć w sposób zmodyfikowany, co przytoczono tu dla ilustracji¹²:

Prunus spinosa L. – „Tarnina pospolita” Krzew gęsto gałęzisty, do 2 (-4) m, gałęzie cierniste, kora czarna, młode gałązki omszone¹³; liście odwrotnie jajowate¹⁴, 2-4 cm, u podstawy klinowate, drobno piłkowane, z wierzchu matowe i nagie, na spodzie, na żyłkowaniu omszone, kwiaty bardzo liczne pojedyncze, czysto białe, szypułki kwiatowe 5 mm, nagie, korona 5-8 mm, pestkowce kuliste, 10-15 mm, sterczące¹⁵, czarnoniebieskie¹⁶, pokryte woskowym nalotem, kwaśne i cierpkie, pestka kulista, gładka, 2n=32, (...) Częsta a nawet pospolita.

¹² Przytoczono własne tłumaczenie wykonane na podstawie oryginału czeskiego.

¹³ *pyr.* = *pyřite* czyli owłosione lub omszone.

¹⁴ „*obvejcite az obkopine*”

¹⁵ *přimé*

¹⁶ lub ciemnoniebieskie

Gatunek bardzo zmienny, rozpadający się na wiele typów różnej rangi¹⁷ taksonomicznej, częste podgatunki.

- I. subsp. *spinosa* – „tarnina pospolita właściwa”

Liście łysiejące¹⁸ (...), kwiaty małe, szypułki kwiatowe i kielichy łyse, pestkowce (...), kuliste, 8-10 mm, kwitnie przed pojawieniem się liści.

-II. subsp. *moravica* DOMIN – „tarnina pospolita morawska”

gałęzie wydłużone, prętowate, liście większe, (...) szypułki owoców do 5 mm; pestkowce słodkie, pod woskowaniem czarne i mocno lśniąco, 15-18 mm średnicy. Okręg Telče.

-III. subsp. *megalocarpa* DOMIN – „tarnina pospolita wielkoowocowa”

Gałęzie bardzo mocno cierniste, liście małe, wąskie, odwrotnie jajowate¹⁹, 30x15 mm, łyse po obu stronach, szypułki owoców²⁰ 10-12 mm, pestkowce 15-18 mm, kwaśne i ściskająco cierpkie, pestka pomarszczona; Brdy, Wyżyna Czesko-morawska, Pogórze Południowo-morawskie²¹.

-IV. subsp. *dasyphylla* (SCHUR)DOMIN – „tarnina pospolita kosmata (owłosiona)”

Liście na spodzie trwale owłosione, szypułki kwiatowe owłosione, hypancjum²² owłosione, pestkowce 12-15 mm, kwaśne i cierpkie, pestka 7-9 mm; kwitnie równocześnie z listnieniem. Prawdopodobnie osobny gatunek (2n=32) o zasięgu panońskim sięgającym na południowe Morawy i południową Słowację (Helenin).

-V subsp. *cerasina* HRAB[†] - UHR. - „tarnina pospolita czereśniowa”

Liście na spodzie omszone, szypułki kwiatowe i kwiaty omszone, pestkowce 14-17 mm, słodkawe, pestki 12-14 mm. Południowe Morawy okolice Hustopeči, prawdopodobnie identyczny z następnym.

¹⁷ albo wartości.

¹⁸ *olysale*

¹⁹ *obkopine*

²⁰ *pl. stopki*

²¹ *jihimoravské pahorkatiny*

²² *češule*

-VI subsp. *fruticans* (WEIHE)ROUY DE CAMUS - „tarnina pospolita krzaczasta”

Krzew 2-3 m, liście odwrotnie jajowate do jajowatoeliptycznych²³, 4-5x2-3 cm; kwiaty pojedyncze (n po 2=?) lub po dwa, do 20 mm średnicy, pestkowce wielkości czereśni, kuliste, do 20 mm, czarnofioletowe²⁴. Prawdopodobnie zdziczały kultywar lub hybryd (*P. insititia* x *spinosa*). Zasięg dotąd nieznany, stwierdzony na południowych Morawach²⁵.

Na koniec należy zauważyć że, niektóre ze współczesnych źródeł, problem naturalnego tworzenia mieszańców uznają za marginalny lub też traktują go jako mechanizm tłumaczący powstawanie nowych niższej rangi taksonów w obrębie *P. spinosa sensu lato* (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955; DOSTAL 1989; KOMAROW 1964), inne w ogóle go pomijają (BROWICZ (red) 1976). Jeszcze inne wreszcie zajmują ostrożne stanowisko podobne do „Flora Europea” (TUTIN I IN. 1968, por. „1.1. Obiekt badań”) i uznają niemożność dokładnego odgraniczenia mieszańców od formy czystej (np. HAEUPLER, SCHÖNFELDER 1988) metodami zazwyczaj dostępnymi botanikom. Podobną postawę „marginalizacji” lub „ostrożnej niewiedzy” odnajdujemy w zagadnieniu zmienności geograficznej tarniny.

Podsumowując, należy zauważyć, że wobec tak dużej zmienności gatunku jedynie kompleksowa biometria, być może w powiązaniu z jeszcze innymi metodami, może być źródłem wiarygodnych i konkluzywnych danych koniecznych do uporządkowania taksonomii *P. spinosa* L..

1.1.5. Tarnina jako obiekt komputerowych badań biometrycznych

Z omówionego powyżej stanu wiedzy na temat taksonomii *Prunus spinosa* L. wynika, konieczność przeprowadzania badań nowoczesnymi metodami taksonomii. Kompleksowe badania tarniny są niewątpliwie konieczne, dla jednoznacznego ustalenia

²³ obvejčité az vejčité eliptické

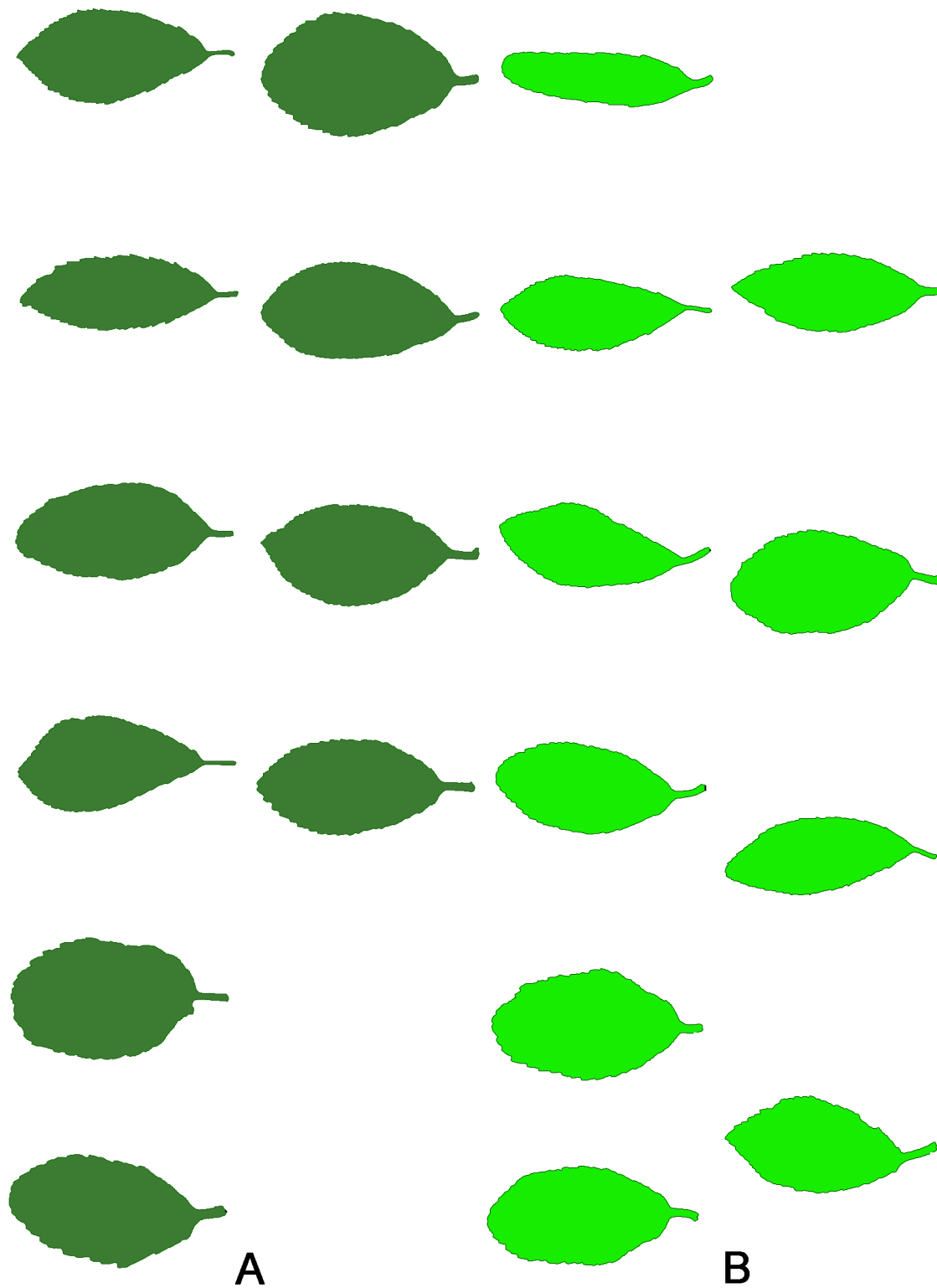
²⁴ černofialové

²⁵ oryginalnie j. M.

jej systematycznego statusu. Z powodu braku możliwości jednoznacznej i powtarzalnej identyfikacji form, badania systematyczne i fitogeograficzne tarniny znajdują się od lat w martwym punkcie. Tym bardziej nie możliwe są badania w innych dziedzinach, wykorzystujących systematykę botaniczną.

Choć wszystkie bez mała źródła piszą o „wielkiej zmienności tarniny”, o tworzeniu przez nią mieszańców i czasem także o trudnościach z identyfikacją jak dotąd gatunek ten nie miał szczęścia do badań biometrycznych. Głównym powodem są zapewne wielkie trudności jakie tarnina może sprawiać morfometrii. Wystarczy tylko spojrzeć na różnorodność form liści (Ryc. 5), a także zauważyć że niekiedy bardzo na pierwszy rzut oka niepodobne liście mogą pochodzić z tego samego krzewu, a już na pewno z krzewów tej samej populacji. Typowe stosowane w biometrii cechy metryczne mogą być tu niewystarczające. Dając zbyt skąpą ilość danych mogłyby, co gorsza, prowadzić do błędnych wniosków. Wydaje się ponadto, że w wypadku tarniny bardzo istotne mogą być cechy związane z ząbkowaniem/karbowaniem liścia, co przy ręcznych lub półautomatycznych metodach pozyskiwania danych biometrycznych wydaje się pracą przekraczającą siły jakiegokolwiek badacza.

Ze względu na stopień komplikacji zagadnienia przekraczający możliwości klasycznych technik systematycznych niezbędne jest tu kompleksowe zastosowanie komputerowej akwizycji i integracji danych oraz analizy wielozmiennowej. Najpierw konieczne jest ustalenie w jakim stopniu zakres zmienności morfologicznej form rozpoznawanych przez badaczy jako *Prunus spinosa* L. jest oddzielony od zakresów zmienności gatunków pokrewnych, oraz w jakim stopniu można mówić o nieciągłościach wewnątrz tego zakresu. Następnie można ustalić związki cech morfometrycznych z cechami uzyskanymi metodami kariologicznymi i genetycznymi pozwalającymi jednoznacznie określić formy mieszańcowe. W efekcie zaś, dane morfometryczne mogą posłużyć do stworzenia narzędzia automatycznej identyfikacji form czystych i mieszańcowych, pozwalając wreszcie wykonać wiarygodne i porównywalne badania florystyczne i fitosocjologiczne.



Ryc. 5. Różnorodność kształtów liści krzewów *P. spinosa* L. Liście z długopędów (A) w kolorze ciemnozielonym. Liście z cierni (B) w kolorze jasnozielonym. Kolory dobrane arbitralnie.

1.2. Komputerowa akwizycja danych

W pracy zastosowano w kompleksowy sposób komputerowe metody akwizycji danych oraz analizy eksploracyjnej. W znacznej części były to rozwiązania jeszcze nie stosowane powszechnie lub zupełnie nowe, stąd za konieczne uznano uzupełnienie „Wstępu” o podrozdział dotyczący metodyki.

1.2.1. Wprowadzenie

W XX wieku systematycy zaczęli wykorzystywać, prócz klasycznych, morfologiczno - porównawczych danych, także dane kariologiczne, biometryczne, biochemiczne i genetyczne. Rozpowszechniające się ostatnio metody genetyki molekularnej spowodowało wręcz rewolucyjny skok, jeśli chodzi o ilość informacji nadających się do wykorzystania w badaniach systematycznych. Nie mniej istotne jest coraz szersze zastosowanie komputerów, bez których prawdopodobnie niemożliwa by była jakakolwiek obróbka i integracja tych coraz bogatszych danych taksonomicznych. Poza tak oczywistymi zastosowaniami jak użycie programów stosujących mniej lub bardziej tradycyjne metody statystycznej oraz eksploracyjnej analizy danych, w tym metody taksonomii fenetycznej i filogenetycznej, rozwijają się też metody pozwalające na efektywne manipulowanie wielkimi zbiorami informacji taksonomicznej. Przykładem może tu być format DELTA (DALLWITZ 1974, 1980; ASKEVOLD, O'BRIEN 1994). W nurcie tym mieszczą się też prace nad różnorodnymi systemami ekspertowymi wspierającymi badania systematyczne, bazami danych i automatycznymi kluczami do identyfikacji czy też systemami zintegrowanymi. Te ostatnie mogą spełniać znacznie efektywniej te zadania, które dotychczas spełniały tradycyjne klucze do oznaczania, ale także te, które zarezerwowane były dotychczas dla systemów baz danych jak np. zestawianie cech taksonów spełniających zadane kryteria, porównywanie wybranych gatunków itp. (BARNETT I IN.1985; BROUGH, ALEXANDER 1986; DUNCAN, MEACHAM 1986; ATKINSON, GAMMERMAN 1987; ALLKIN I IN. 1992; ESTEP I IN.1993; KENNEDY, SPOONER 1994).

1.2.2. Automatyzacja pozyskiwania danych

Wśród nowych technik systematyki ważnym elementem jest automatyzacja pozyskiwania danych taksonomicznych, które mogą służyć następnie zarówno do

skuteczniejszego i bardziej obiektywnego systematyzowania taksonów jak i do automatyzacji procedury oznaczania okazu przez pakiet ekspertowy czy komputerowy klucz. Mogą też służyć do stworzenia automatycznych systemów tam gdzie konieczna jest identyfikacja obiektów biologicznych pod nieobecność biologa, czy nawet w ogóle człowieka (GUYER I IN. 1986, 1993; GERHARDS I IN. 1993; RATH 1996). Spektakularnym przykładem takiego zastosowania jest system automatycznego usuwania chwastów w uprawach sadzonek pomidorów (TIAN I IN. 1997).

Automatyzacja pozyskania danych rozwija się przede wszystkim w dwu ostatnio dominujących nurtach metodologicznych różniących się diametralnie podejściem do obiektów biologicznych jako źródła danych systematycznych. Są to: morfometria i porównawcze badania z użyciem metod genetyki molekularnej. Oba te nurty wzajemnie się uzupełniają²⁶.

Pierwszy z nurtów - morfometria ma w botanice długą tradycję, a niebagatelną w niej rolę od zawsze grali badacze Polscy. Już w kilkanaście lat po pionierskich pracach LUDWIGA (1896) ukazały się rozprawy CHMIELEWSKIEGO (1909,1913). Intensywne badania biometryczne w botanice prowadzone są na świecie (MELVILLE 1937) i w Polsce przynajmniej od sześćdziesięciu lat (SZYMKIEWICZ 1928; STECKI, BELLA 1931; WIŚNIEWSKI 1932; CZECZOTTOWA 1933,1936). Morfometria w okresie międzywojennym przyczyniła się do ugruntowania ilościowego podejścia do badań biologicznych w ogóle, a systematycznych w szczególności, a także, rozwijając się na równi z cytologią i genetyką wpływała na nie, przyczyniając się m.in. do powstania i rozwoju genetyki populacyjnej.

W Polsce lat międzywojennych wśród licznych prac wykonywanych w Krakowie, Poznaniu czy Lwowie poczesne miejsce zajmują badania wykonywane w kierowanym wówczas przez Bolesława Hryniewieckiego Instytucie Systematyki i Geografii Roślin Uniwersytetu Józefa Piłsudskiego w Warszawie. W latach powojennych biometria rozwijała się szczególnie żywiłowo w ośrodku krakowskim, głównie za sprawą Janiny Jentys-Szaferowej i jej uczniów. W myśl zaleceń pioniera i ojca polskiej biometrii

²⁶ Trzecim nurtem gdzie jest możliwa do pewnego stopnia taka automatyzacja jest chemotaksonomia. Pozwala na to rozwój nowych, niestety zazwyczaj bardzo kosztownych, metod analizy chemicznej takich jak np. spektroskopia, chromatografii gazowa czy spektrometria masowa.

Dezyderego Szymkiewicza rozwinięto tam i stosowano metody czytelne dla botanika niezaznajomionego z matematyką, oparte na analizie prostych cech biometrycznych i intuicyjnie zrozumiałych metod analizy i wizualizacji (np. profile kształtu). We współpracy z Instytutem Botaniki PAN również botanicy warszawscy prowadzili takie badania (ANDREARCZYK 1971, 1979). Szczegółowy przegląd osiągnięć polskiej biometrii botanicznej do początku lat siedemdziesiątych XX w. można znaleźć w pracy JENTYS-SZAFEROWEJ (1971).

Nurt drugi to oczywiście metody genetyczne. Jeśli nie liczyć kariologii, a jedynie genetykę molekularną, są one znacznie młodsze, choć też mają już za sobą kilkadziesiąt lat rozwoju. Od początku też próbowano stosowania ich do badań systematycznych (art. przeg. SANDERSON I IN. 1993), dopiero jednak rozwijająca się ostatnio bardzo prężnie (i kosztem ogromnych nakładów finansowych) automatyzacja tych metod, w tym szczególnie PCR uczyniła takie badania bardziej efektywnymi i powszechnymi, zarówno na świecie jak i w Polsce (np. ZAKRYŚ I IN. 1996, 1997).

Oba wymienione podejścia mają swoją specyfikę. Metodami molekularnymi bezpośrednio porównywane są sekwencje DNA pochodzące z różnych taksonów, nie tylko sekwencje faktycznie kodujące białka czy RNA, ale też bardzo często tzw. „milczącego DNA”, czyli sekwencji nie kodujących, których ewolucja nie jest modyfikowana przez zewnętrzną presję selekcyjną. Ze względu na nieuniknioną pracochłonność i wysokie koszty, zwykle badania takie koncentrują się wybranej pojedynczej sekwencji²⁷. Choć takie podejście pozwala stosunkowo niewielkim nakładem efektywnie ustalać wzajemne pokrewieństwa pomiędzy dosyć odległymi systematycznie organizmami, może być jednak problematyczne w wypadku organizmów blisko spokrewnionych, których „drogi ewolucyjne” rozeszły się stosunkowo niedawno lub pomiędzy którymi możliwy jest poziomy transfer genów (należą do tego samego gatunku dwu-rodzicielskiego, tworzą mieszańce czy też mają wspólne naturalne wektory).

²⁷ Co przy niewłaściwym doborze badanej sekwencji może niestety dawać wyniki sprzeczne z całą dotychczasową wiedzą na temat badanych taksonów, w tym z wynikami uzyskanymi na podstawie badań innych sekwencji tych samych organizmów!

Warto sobie uświadomić, że materiał genetyczny dwóch spokrewnionych gatunków organizmów wyższych może różnić się bardzo nieznacznie (w granicach kilku procent). Wśród blisko spokrewnionych taksonów roślinnych różnice mogą niekiedy sprowadzać się do pojedynczych pozycji w sekwencjach kilkuset par zasad²⁸ (DOWNIE, KATZ-DOWNIE, SPALIK 2000).

Metody morfometryczne, w odróżnieniu od genetyki molekularnej, „patrzają” wyłącznie na fenotyp. Zajmują się więc cechami będącymi zazwyczaj efektem współdziałania licznych genów dodatkowo zmodyfikowanym przez wpływ środowiska. Ponadto wymagają, by porównywane organizmy były generalnie podobne. Zatem nie sposób za ich pomocą porównywać np. brunatnic z roślinami kwiatowymi, ale znacznie lepiej niż metody genetyczne nadają się do badań zmienności populacyjnej, wewnątrzgatunkowej czy badań porównawczych pomiędzy blisko spokrewnionymi taksonami.

1.2.3. Paradygmat automatycznej biometrii

Możliwość usprawnienia metod biometrycznych przez ich automatyzację czyni je znacznie bardziej użytecznymi. Zastosowanie komputera pozwala kilkukrotnie wzbogacić arsenał pomiarów – czyli liczbę cech o potencjalnej użyteczności do celów taksonomicznych. Jednocześnie możliwe jest znaczne (w sprzyjających warunkach nawet kilkudziesięciokrotne) zwiększenie liczby mierzonych obiektów. Ponadto cyfrowa postać materiału wejściowego (np. cyfrowe obrazy całych liści, a nie same liście) oraz uzyskanych danych może znacznie uprościć aspekty związane z udostępnieniem i wymianą informacji taksonomicznej. Komputery mogą więc mieć dla morfometrii znaczenie przełomowe.

Należy jednak zwrócić uwagę, że zastąpienie pomiarów morfometrycznych wykonywanych bezpośrednio przez badacza – człowieka pomiarami wykonywanymi w całości przez komputer nie jest sprawą tak prostą, jak mógłby sądzić laik widząc postęp jaki się w tej dziedzinie dokonał przez ostatnie lata. Człowiek został wyposażony przez

²⁸ W cytowanej pracy opisywano pary gatunków z rodziny *Apiaceae* (np. *Athamanta cretensis* i *A. turbith*, czy *Chaerophyllum elegans* i *Ch. hirsutum*), które mimo że wyraźnie odmienne morfologicznie, miały identyczne sekwencje ITS, a liczne pary gatunków różniły się jedynie pojedynczymi pozycjami na 206 do 221 par zasad. Jest to o tyle zaskakujące, że sekwencje ITS uznawane są za jedne z najszybciej ewoluujących.

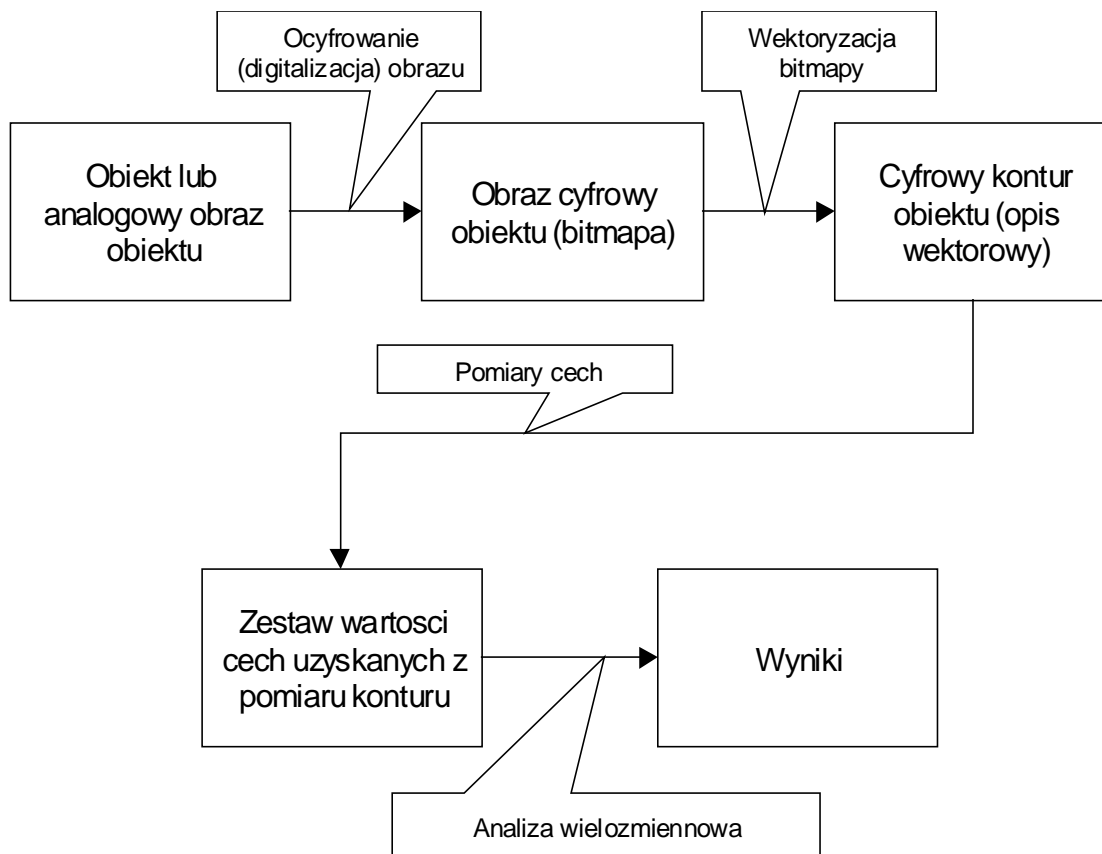
ewolucję w doskonały aparat analizy wzrokowej, jeśli więc nie jest akurat specjalistą w dziedzinie „automatycznej analizy obrazu” trudno mu przychodzi wyobrażenie sobie jak w rzeczywistości złożonym problemem jest uzyskiwanie użytecznych informacji z tego co widzi, czyli przekształcanie obrazu na jego opis.

Przykładowo, chcąc zmierzyć długość blaszki liściowej badacz bierze liść, przykładą do niego linijkę i odczytuje wartość. Proste? Zapewne, ale tylko dlatego że badacz jest człowiekiem. Komputer także może wykonać taki pomiar wg zadanego algorytmu, ale algorytm ten będzie nieporównanie bardziej skomplikowany, bo nie można oprzeć się w nim na gotowych, usprawnianych przez ewolucję strukturach, ani bezpośrednio na indywidualnym doświadczeniu, którym dysponuje każdy człowiek.

W procesie tym można wyróżnić następujące etapy:

1. obraz musi zostać przekształcony do postaci cyfrowej (np. poprzez skanowanie).
2. z obrazu musi zostać wyodrębniony obiekt pomiaru - liść, i przekształcony na mierzalny opis cyfrowy (najczęściej opis wektorowy).
3. liść musi zostać właściwie zdekomponowany na ogonek i blaszkę liściową,
4. przyjmując, że jednym z końców mierzonego odcinka będzie miejsce złączenia ogonka i blaszki liściowej musimy znaleźć drugi koniec.

Podobnie jak punkt odcięcia ogonka tak i drugi punkt - szczyt blaszki jest dla botanika łatwy do znalezienia, ale komputer wymaga bardzo ścisłej definicji, która w dodatku da się zastosować do obrazu konkretnego liścia jaki ma do dyspozycji. Jeśli uporamy się z przełożeniem ludzkich definicji „ogonka”, „blaszki” i „szczytu blaszki” na zrozumiałe dla programu komputerowego algorytm to osiągnęliśmy „już” sukces. Ostatni etap jest akurat dla komputera bardzo prosty – jeśli w jakikolwiek sposób podamy mu skalę obrazu (czemu w przypadku człowieka w istocie służy linijka) to obliczenie odległości między dwoma punktami będzie już zadaniem trywialnym. Każdy z etapów przedstawionej procedury jest niełatwy do wykonania, a całość dopiero niedawno zaczęła być wykonalna za pomocą powszechnie dostępnych środków technicznych (WHITE I IN. 1988).



Ryc. 6. Schemat etapów automatycznej biometrii. (Na podstawie pracy WHITE I IN. 1988, zmodyfikowane.)

Powyższy przykład jest tylko jednym z prostszych zadań biometrycznych, ilustruje jednak kilka istotnych uwarunkowań automatycznej morfometrii. Widać że zadania morfometryczne można rozkładać na etapy stanowiące oddzielną całość (por. Ryc. 6). Niektóre z nich człowiek wykonuje wciąż niedościgle, w niektórych możliwości człowieka i komputera są podobne, wreszcie w niektórych komputer już ma przewagę. Zatem wykorzystywanie możliwości człowieka tam gdzie to konieczne lub wygodniejsze, a możliwości komputera na pozostałych etapach, pozwala od razu znacznie podnieść efektywność pozyskiwania danych morfometrycznych i otwiera drogę na dalsze udoskonalenia.

Choć zaprogramowanie komputera tak, by mógł całkowicie zastąpić człowieka w pozyskiwaniu danych morfometrycznych długo jeszcze nie będzie możliwe²⁹, dzięki

²⁹ Wystarczy zastanowić się nad techniczną złożonością zadania wyboru i zbioru materiału w terenie.

stosowaniu podejścia mieszanego automatyczne pozyskiwanie danych morfometrycznych ma już za sobą długą historię.

Zapoczątkowano je w krajach anglosaskich (USA, Kanada, Australia itd.) stosując do problemów taksonomii zoologicznej (np. ROHLF, ARCHIE 1984; LEASTREL (red) 1997). Prace na materiale roślinnym pojawiły się zaś w latach 80-tych - wraz z ekspansją mikrokomputerów (DICKINSON I IN. 1987; KINCAID, SCHNEIDER 1983; WEST, NOBLE 1984). Ze względu na wysokie koszty niezbędnego sprzętu i/lub ludzkiej pracy badania takie miały początkowo charakter elitarny. W ostatnich latach jednak szeroka dostępność i stosunkowo niska cena mocnych komputerów oraz urządzeń do pozyskiwania obrazu takich jak stacjonarne i ręczne skanery, stacjonarne kamery cyfrowe oraz przenośne aparaty cyfrowe³⁰ uczyniła realnym powszechne zastosowanie takich metod.

Dla potrzeb komputerowej biometrii zaadaptowano metody klasyczne, które nazywane są tu metodą stałych markerów (*landmarks and pseudolandmarks method*; BOOKSTEIN 1992; DICKINSON I IN. 1987; ROHLF, MARCUS 1993). Ponadto przystosowano też wiele szczegółowych metod stosowanych w analizie obrazów. Najczęściej stosowane to eliptyczne współczynniki Fouriera (*elliptic Fourier descriptors*) i metody pokrewne (KUHL, GIARDINA 1982; LEASTREL (red) 1997) oraz niezmienniki momentów (*moment invariants*; DUDANI I IN. 1977). Obiecująca jest też analiza kształtów metodą „gramatyk opisu kształtu” (*shape feature description language*), której twórcą jest polski matematyk JAKUBOWSKI (1986), niedawno przeniesiona na grunt biometrii liści (MORACZEWSKI, BORKOWSKI 1997; MORACZEWSKI 1998).

Potencjalnie duże znaczenie mogą mieć też metody służące do automatycznego określenia złożoności liści (MORACZEWSKI, BORKOWSKI 1997), szczególnie, że możliwość zastosowania innych metod często zależy właśnie od złożoności liścia. Np. metoda Eliptycznych Współczynników Fouriera słabo sobie radzi z sylwetkami blaszek liściowych o skomplikowanych kształtach, zaś metoda gramatyk obrazu Jakubowskiego może być użyteczna wyłącznie dla konturów dających się zdekomponować - czyli zawierających jakiegokolwiek, chociażby płytkie – zagłębienia, nie nadaje się natomiast do

³⁰ Cenne ze względu na możliwość pracy w terenie i z delikatnymi okazami zielnikowymi, których z uwagi na możliwość zniszczenia nie daje się ocyfrowywać standardowym skanerem

zupełnie gładkobrzedych figur (czyli prostych liści). Jest więc potrzebna metoda pozwalająca na ocenę *złożoności* obiektu (liścia) i ułatwiająca automatyczny dobór najlepszej dla danej klasy obiektu metody opisu *kształtu*. Zastosowanie do tego celu „wymiaru fraktalnego”³¹ jest zgodne z powszechnym w ostatnich latach jego stosowaniem do pomiaru złożoności w różnych działach nauk przyrodniczych (przegląd osiągnięć w tej dziedzinie dali KENKEL, WALKER 1996).

Pierwsze próby zastosowania wymiarów fraktalnych (VLCEK, CHEUNG 1986) do pomiaru złożoności liści nie przyniosły spodziewanych rezultatów, głównie w wyniku wadliwych założeń i popełnionych błędów metodycznych. Ponowną próbę zastosowania miar fraktalnych w biometrii liści podjęto trzynaście lat później (BORKOWSKI 1999). W pracy tej zaproponowana została wprawdzie bardziej skomplikowana, ale za to skuteczna procedura fraktalnego pomiaru złożoności liści opierająca się na szeregu dzieł podstawowych (PEITGEN, SOUPE 1988; EDGAR 1990).

Już we wstępnych studiach okazało się, że wymiar fraktalny może być użyteczny nie tylko do wstępnej obróbki okazów (*preprocessing*) - selekcji metod pomiarowych, ale także bezpośrednio do celów analizy fenetycznej i pokrewnych metod analizy wielozmiennowej. Stąd też wymiar fraktalny obok innych metod został użyty w tej pracy jako jedna z cech liści tarniny i liści pokrewnych gatunków rodzaju *Prunus*.

Osobne zagadnienie stanowią wciąż rozwijające się metody analizy wielozmiennowej. Poza metodami statystycznymi pozwalającymi na weryfikacje hipotez naukowych na podstawie zebranego materiału (BLALOCK 1974) szczególnie ważne dla systematyki są metody analizy eksploracyjnej służące stawianiu takich hipotez poprzez odnajdywanie w danych wartych zbadania zależności. Może się to odbywać poprzez analizę grupowania badanych obiektów lub zmiennych jak w powszechnie stosowanych

³¹ Wymiar fraktalny jest jednym z podstawowych pojęć stosunkowo nowej i prężnie się rozwijającej dziedziny matematyki zwanej geometrią fraktalną. Wymiar w rozumieniu klasycznej geometrii to cecha obiektu geometrycznego charakteryzująca jego własności topologiczne. Wymiar topologiczny krzywej wynosi 1, wymiar powierzchni wynosi 2, a wymiar bryły wynosi 3. Definicja taka jest niewystarczająca dla obiektów fraktalnych takich np. jak krzywa Kocha czy trójkąt Sierpińskiego. W celu opisania geometrycznych własności takich obiektów rozszerzono pojęcie wymiaru, tak by mógł on przyjmować wartości będące liczbami niecałkowitymi, zwykle większymi od ich wymiaru topologicznego. Jest to związane z niemożnością dokładnego obliczenia niektórych własności figur fraktalnych (np. obwodu). Klasycznym przykładem jest wybrzeże Wielkiej Brytanii (czy jakiegokolwiek inne wybrzeże czy naturalna granica geograficzna), którego zmierzona długość drastycznie zależy od przyjętej dokładności pomiaru. Przystępny wykład geometrii fraktalnej można znaleźć w książce PEITGEN I SOUPE (1988).

metodach szeroko pojmowanej analizy skupień (BATKO, MORACZEWSKI 1993; STATSOFT, INC. 1996), czy oceny „pewności” utworzonych skupień jak w metodzie zbiorów zgrubnych (MORACZEWSKI, SUDNIK-WÓJCIKOWSKA, BORKOWSKI 1996). W analizie danych w tej pracy zastosowano dwie nowe metody z tej grupy, w których powstaniu autor miał swój udział: niehierarchiczne skupianie za pomocą algorytmu genetycznego (MORACZEWSKI I IN. 1995) oraz nieparametryczny odpowiednik analizy dyskryminacyjnej oparty na analizie najbliższego sąsiedztwa (BORKOWSKI 1999).

1.3 Cele pracy

Omawiana praca miała następujące, podstawowe cele:

I. Materiałowe, związane z badaniem samego obiektu:

- a) Weryfikacja, w oparciu o obfity materiał, zasadności twierdzeń poprzednich badaczy *Prunus spinosa* L. co do powiązań zmienności z warunkami środowiskowo-geograficznymi, podziału gatunku na kilka wyraźnie odrębnych podgatunków z licznymi odmianami oraz hipotezy o mniej lub bardziej powszechnym występowaniu spontanicznych form mieszańcowych z udziałem *P. spinosa* i innych gatunków śliw.
- b) Pierwsze dla Polski (i być może Europy) wszechstronne zbadanie zmienności biometrycznej liści i elementów pędów tego gatunku.

II. Dodatkowe cele metodyczne, związane z udoskonalaniem metod, sprawdzonych dotąd w zadaniach o mniejszej skali, w pracy na trudnym materiale:

- a) Komputerowej morfometrii (biometrii) - czyli automatycznego pomiaru dużej liczby cech dużego zbioru obiektów (np. liści i pędów) w celu poddania tych danych analizie wielozmiennej i eksploracyjnej.
- b) nowych, optymalizacyjnych metod eksploracyjnej analizy danych, w tym metody znajdowania najlepszej klasyfikacji zbioru algorytmem genetycznym czy znajdowanie zestawu cech najlepiej przystającego do danej klasyfikacji.

2. MATERIAŁ

2.1. Stanowiska

Materiał do badań biometrycznych *Prunus spinosa* L. w większości zebrany został przez autora pracy w latach 1998/99 (24 stanowiska). Pozostały materiał zbierany był w latach 1973/76 przez pracowników Instytutu Botaniki PAN (7 stanowisk) i udostępnione autorowi przez KRAM. Większość stanowisk znajdowała się na terenie Polski (Ryc. 7), lecz zebrano także jedną próbę z terenu Słowacji i dwie próby z Węgier. W obrębie próby znalazły się populacje ze zróżnicowanych siedlisk, od rezerwatów stepowych po (sporadycznie) siedliska ruderalne. Zbioru dokonywano w pełni sezonu wegetacyjnego od czerwca do września co gwarantowało pełny rozwój liści. Wyjątkiem była jedna próba zebrana pod koniec maja 1999 r. na stokach Otrytu w Bieszczadach, w której liście były jeszcze nie całkowicie rozwinięte. W próbach z Sandomierza, Załuża i Kamienia Leskiego, które były zbierane w tym samym czasie, ale z niższych położeń, liście były już w pełnych rozmiarach, choć jeszcze młode. Zbiór ze stanowiska na Otrycie został powtórzony w sierpniu tego samego roku. Powtórnego zbioru materiału dokonano także w odstępie roku na stanowisku w Piaskach koło Ełku, oraz w odstępie 23 lat w okolicach Leska w Bieszczadach.

Ponadto dla celów porównawczych zebrano materiał z innych gatunków śliw hodowlanych i dziczejących, oraz o cechach pośrednich między *P. spinosa* L. a *P. domestica* L. (7 stanowisk), częściowo z miejsc w których współwystępowały z tarniną.

2.1.1. Miejsca zbioru na terenie Polski

Poniżej podano wykaz wszystkich stanowisk z których zbierano próby *P. spinosa* L. i okazy innych przedstawicieli rodzaju *Prunus* wraz z krótkimi opisami jakościowymi:

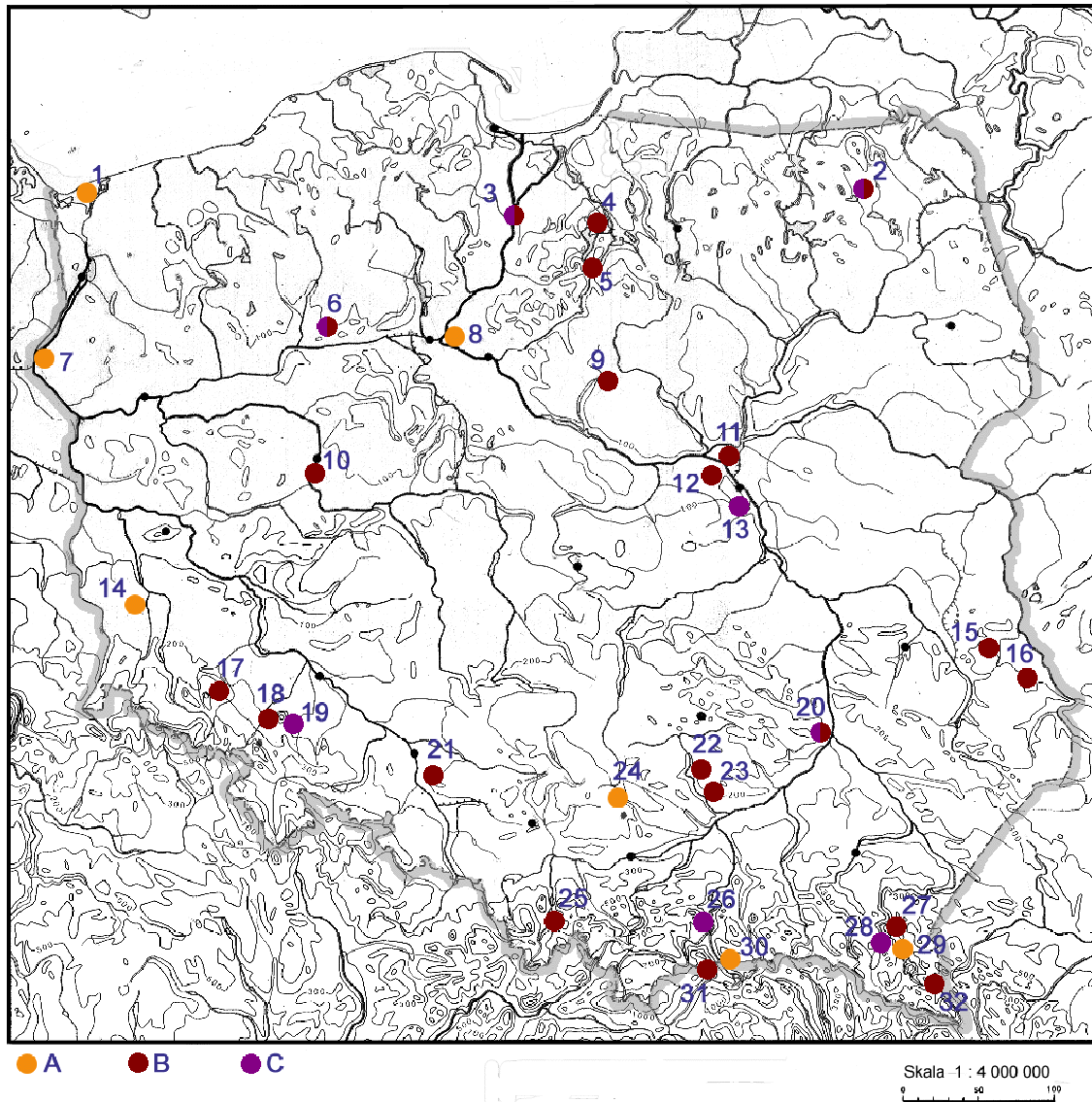
- **Wolin:** *P. spinosa* L. z Wolińskiego Parku Narodowego. (8.07.1975r. KRAM)
- **Piaski:** Piaski k. Ełku. Tzw. „Spalony dom”; porzucona duża willa w stanie surowym na szczycie wzgórza górującego nad jeziorem Łaśmiady. Izolowane stanowisko

P. spinosa L.³² w postaci gęstego zgrupowania krzewów o powierzchni ok. 20m² na terenie zniszczonym w trakcie budowy. Okazy do 2.5 m wysokości o nietypowym wzroście: brak „klasycznych” starych odgałęzień, nieliczne owoce w nietypowych (?) położeniach. (15.06.1998 r. Materiał własny)

- **Piaski 2:** Powtórny zbiór *P. spinosa* L. z tego samego stanowiska po upływie roku. Tym razem liczne pędy świętojańskie i dosyć liczne owoce, częściej drobne, lecz na niektórych krzewach bardzo duże. (25.06.1999r. Materiał własny)
- **Sajzy:** Stacja terenowa Wydziału Biologii UW w Sajzach k. Ełku. Rosnący na terenie stacji nietypowy okaz (*Prunus domestica* subsp. *domestica* lub mieszańiec) o bardzo małych (do 25 mm) owalnych owocach, z niewielką płaską pestką. (03.09.1999 r. Materiał własny)
- **Gniew:** Rozproszone zarośla z dominacją *P. spinosa* L. w dolnej części skarpy schodzącej w pradolinę Wisły niedaleko ujścia Wierzycy, u podnóża zamku. Okazy dość niskie (do 2 m), z licznymi drobnymi długopędami i cierniami (prawdopodobnie świętojańskimi). Znaczny udział bardzo drobnych liści. (19.08.1998 r. Materiał własny)
- **Kwidzyn:** Na granicy sadu i nasypu dawnej kolei wąskotorowej. Pojedynczy okaz *Prunus spinosa* L. lub mieszańiec. Dość wysoki (ok. 4 m), nieciernisty krzew z okazałymi jak na tarninę owocami (do 20 mm). Liście w dobrej formie ze względu na łagodną jesień. (09.10.1999 r. Materiał własny)
- **Boreczno :** Okolice cmentarza za wsią Boreczno nad północno-wschodnią zatoką Jezioraku. Zarośla *P. spinosa* L. przy drodze asfaltowej i przy drogach polnych oraz na nieużytkach wokół cmentarza. Okazy niewysokie (ok. 2.5 m) ale gęste, zdrowe i niekiedy tworzące małe (ok. 5 x 10m) czyżnie (FALIŃSKI 1963). Izolowane stanowisko, którego istnienie ma może związek z faktem, że większość dróg w okolicy Boreczna wysypana jest wapiennym tłuczniem lub zalega on na poboczach. W kierunku Iławy wyraźny zanik stanowisk. (24.07.1998r. Materiał własny)

³² W okolicy Ełku i dalej w stronę Suwałk tarnina wydaje się nie występować w zbiorowiskach naturalnych, a w zbiorowiskach synantropijnych dominują śliwy o niedużych liściach i żółtych owocach (*Prunus domestica* subsp. *insititia*, ewentualnie mieszańce lub *P. cerasifera* subsp. *divaricata*).

- **Rudzienice:** Wieś Rudzienice k. Iławy. Pojedyncze, izolowane stanowisko w postaci wąskiego pasma zarośli róży i tarniny o długości ok. 30m na stoku nad jeziorem Łabędź. Na glebie gliniastej, na granicy dwóch działek rekreacyjnych. Prawdopodobnie wzdłuż dawnej drogi, obecnie niewidocznej (zarośniętej). Krzewy niskie, często zaatakowane przez pasożyty (owady i prawdopodobnie także pajęczaki i grzyby). Brak owocujących, sporadycznie odrosty świętojańskie. W okolicy dominują zdziczałe formy śliw z żółtymi owocami. (26.07.1998r. Materiał własny)
- **Śmiłowo:** Przy trasie Piła-Bydgoszcz, 4 km przed miejscowością Śmiłowo. Szerokie na kilkanaście metrów, gęste mieszane zarośla wokół niewielkiego jeziora położonego wśród pól uprawnych ok. 0.5 km od szosy. Okazy *P. spinosa* L. słabo cierniste, średnio duże (do 3 m). Obok nich zdziczałe okazy *Prunus domestica* subsp. *domestica*, oraz inne zdziczałe drzewa owocowe. (19.07.1999 r. Materiał własny)
- **Bielinek:** Bielinek nad Odrą, *P. spinosa* L. z rezerwatu na wysokim brzegu Odry. (5.07.1975 r. KRAM)
- **Góra św. Wawrzyńca:** *P. spinosa* L. z wzniesienia (32 m n.p.m.) na prawym brzegu Wisły w pobliżu Bydgoszczy. (14.07.1975r. KRAM)
- **Sierpc:** Gęsty pas zarośli *P. spinosa* L. między źle utrzymaną drogą dojazdową do Skansenu Wsi Mazowieckiej, a zadrzewieniem przy trasie Warszawa-Toruń. Okazy dorodne, wysokie (ok. 4m), z pędami wyraźnie grubszymi niż zazwyczaj. (17.08.1998r. Materiał własny)
- **Puszczykówko:** Obrzeże Wielkopolskiego Parku Narodowego. *P. spinosa* L. rosnąca w szerokim na kilkanaście metrów pasie wysokich (znacznie ponad 4m) zarośli z dominacją głogu i tarniny, między drogą z Puszczykówka na północ a polami. W większości okazy tarniny bardzo stare, mało cierniste, liczne bardzo grube o pokroju prawie drzewiastym. (19.07.1999 r. Materiał własny)
- **Jabłonna:** Lasy mieszane w miejscowości Jabłonna koło Warszawy. Samotne, dorodne okazy tarniny (powyżej 3 m) na skraju rezerwatu i leśnej drogi między rezerwatem, a szkółką leśną oraz podrost w obrębie szkółki. (04.08.1998 r. Materiał własny)



Ryc. 7. Miejscowości w których zbierano materiał. A – *Prunus spinosa* L. z materiałów zielnikowych KRAM, B – *Prunus spinosa* L. z materiałów własnych autora pracy, C – inni przedstawiciele rodzaju *Prunus* z materiałów własnych autora. 1. Wolin, 2. Piaski i Sajzy, 3. Gniew i Kwidzyn, 4. Boreczno, 5. Rudzienice, 6. Śmiłowo, 7. Białeń, 8. Góra św. Wawrzyńca, 9. Sierpc, 10. Puszczykówko, 11. Jabłonna, 12. Lipków, 13. Powsin, 14. Zielony Bór, 15. Staw, 16. Żmudź, 17. Myślibórz, 18. Tapadły, 19. Sulistrowiczki, 20. Sandomierz, 21. Ligota Dln., 22. Skowronno, 23. Skorocice, 24. Tunel, 25. Żywiec, 26. Brzeźna, 27. Załuż i Kamień leski, 28. Zagórz, 29. Lesko, 30. Homole (Jaworki), 31. Sromowce Dln., 32. Otryt.

- **Lipków:** Nieużytki od strony Puszczy Kampinoskiej za wsią Lipków k. Warszawy. Pas niezbyt gęstych, wysokich (ok. 4 m) zarośli *P. spinosa* L. i innych krzewów wzdłuż piaszczystej drogi. Niektóre okazy bardzo nietypowe jak na tarninę – np. rzadko rozgałęzione. (08.09.1998 r. Materiał własny)

- **Powsin:** Ogród Botaniczny PAN. Zebrano materiał z egzemplarzy różnych gatunków i odmian *Prunus* w tym także 2 egzemplarze *P. spinosa* L. przesadzone z innych terenów (Babia Góra i Ogród Botaniczny w Wiedniu). (25.08.1998 r. Materiał własny)
- **Zielony Bór:** Stanowisko *P. spinosa* L. w dawnym województwie zielonogórskim (obecnie lubuskim). (5.07.1975 r. KRAM)
- **Staw:** Stawska Góra koło miejscowości Staw w pobliżu Chełma Lubelskiego. Rezerwat roślinności stepowej ulegający inwazji roślinności krzewiastej z dominującą różą, głógiem i tarniną. Krzewy *P. spinosa* L. niewysokie, zazwyczaj poniżej 1.5 m wysokości, ale dominują stare pędy. Wyraźne objawy zgryzania przez owady, liście często „strączkowe” – złożone wzdłuż osi. (06.06.1998 r. Materiał własny)
- **Żmudź:** Rezerwat roślinności kserotermicznej na naturalnej wychodni kredowej w miejscowości Żmudź k. Chełma. Okazy *P. spinosa* L. rosnące najczęściej pojedynczo, niewysokie (nie przekraczające 2 m), z nikłym udziałem młodych pędów. Stare gałęzie nieregularnie poskręcane, liście często ze śladami zgryzania. (06.06.1998 r. Materiał własny)
- **Wąwóz Myśliborski:** Rezerwat w okolicy Myśliborza k. Jawora. Pojedyncze krzewy *P. spinosa* L. rosnące w cieniu, właściwie już w lesie, przy ścieżce do rezerwatu. Okazy, niewysokie (ok. 1.6 m), słabo gałęziste, prawie bez cierni, z pojedynczymi owocami. (18.07.1999 r. Materiał własny)
- **Tapadły:** Łagodne zbocze wzgórza u podnóża góry Ślęży (od strony zachodniej) między miejscowościami Tapadły i Wiry. Średniej wysokości (ok. 2 m), ale dosyć gęste zarośla śródpolne złożone głównie z tarniny i róży. (18.07.1999 r. Materiał własny)
- **Sulistrowiczki:** Południowo wschodnie stoki Ślęży poniżej rezerwatu. Pojedynczy stary okaz drzewiasty (ponad 10 m wys.) i kilka dużych krzewów (ok. 4 m) o czerwonych owocach. Wielkość liści, oraz wygląd i sposób umieszczenia owoców wskazywałyby na *Prunus cerasifera*, ale możliwa też któraś z odmian *Prunus domestica* subsp. *insititia* lub mieszańce. W okolicy brak tarniny. (18.07.1999 r. Materiał własny)

- **Sandomierz:** Rezerwat „Góry Pieprzowe” k. Sandomierza. „Sypkie” zbocza skarpy nad doliną Wisły. Bezpośrednio nad skarpą sady owocowe, w tym śliwowe. Kilka niewysokich okazów *P. spinosa* L., rozmieszczonych raczej pojedynczo, niektóre w miejscach silnie zacienionych. Ponadto egzemplarze innych gatunków śliw pobrane ze skraju sadów oraz wisienka stepowa pobrana jako materiał porównawczy (*outgroup*). (28.05.1999 r. Materiał własny)
- **Ligota Dln.:** Rezerwat na zachodnim krańcu Góry św. Anny. Szczyt wzgórza porośnięty gęstymi zaroślami z dominacją wiciokrzewu, głogu i tarniny, pasmowe zarośla poniżej z dominującą tarniną oraz kilkuletni podrost na sąsiadujących nieużytkach. Stare okazy *P. spinosa* L. wysokie (miejscami ponad 4 m) i gęste. (17.07.1999 r. Materiał własny)
- **Skowronno:** Skowronno k. Pińczowa. Wzgórze nad wsią; użytkowane rolniczo oraz jako pastwisko. Pasma zarośli śródpolnych i na skraju lasu z dominacją tarniny i głogu. Część okazów tarniny starszych i dorodnych (ok. 3 m wysokości) oraz młody podrost, do 1.2 m. (07.06.1998 r. Materiał własny)
- **Skorocice:** Rezerwat roślinności kserotermicznej wąwozów gipsowych w Skorocicach k. Buska. Okazy *P. spinosa* L. porastającej zbocza, starsze, ale niezbyt dorodne. (07.06.1998 r. Materiał własny)
- **Tunel:** Okolice stacji PKP Tunel na linii kolejowej Warszawa-Kraków, (9.08.1973 r. KRAM)
- **Żywiec:** Góra Grójec koło miasta Żywiec. Zbioru dokonano w okolicy tzw. „Drugiego Potoku” w zaroślach śródpolnych i na skraju lasu. Część okazów stosunkowo mało ciernistych. Częste słabe ciernie z małymi liśćmi w kątach dużych liści, najprawdopodobniej odrosty świętojańskie lub spóźnione wiosenne. (Materiał zebrali K. A. Nowak i I. Moraczewski 22.06.1998 r.)
- **Brzeźna:** Sady ośrodka doświadczalnego SGGW. Okazy reprezentujące różne odmiany użytkowe *Prunus domestica* subsp. *domestica* oraz *Prunus domestica* subsp. *insititia*. (10.07.1999 r. Materiał własny)
- **Przysłup-Załuż:** Przy szosie Sanok-Przemyśl na górze Przysłup nad Załużem. Dorodne okazy *P. spinosa* L. (ok. 3.5 m wys.) z dosyć rozległych mieszanych zarośli na pd. stoku poniżej parkingu blisko szczytu. (28.05.1999 r. Materiał własny)

- **Kamień Leski** : Punkt widokowy „Kamień Leski” przy szosie Lesko-Uherce. Okazy *P. spinosa* L. z rzadkich, niezbyt wysokich (ok. 1.8 m) i dosyć młodych zarośli na skraju lasu i polany od pd. zach. strony wzgórza. (25.05.1999 r. Materiał własny)
- **Zagórz**: *Prunus cerasifera* (ałyca), na granicy sadu i pola. Ośmioletnie okazy pochodzące z hurtowni ogrodniczej w Al. Krakowskiej w Warszawie, sadzone przez autora w 1991 r. (16.08.1999 r. Materiał własny)
- **Lesko**: Okolice Leska na przedgórzu Bieszczad. (27.07.1976 r. KRAM)
- **Homole**: Wąwóz Homole k. miejscowości Jaworki w Małych Pieninach. (14.06.1973 r. KRAM)
- **Sromowce Dln.**: Nieużytki, pastwiska i łąki nad wsią Sromowce Niżne, na pd. stoku pasma Trzech Koron w Pieninach. Pojedyncze kępy raczej niewyrośniętych (do 1.5 m) starszych okazów *P. spinosa* L. i kilkuletni podrost. (09.07.1999 r. Materiał własny)
- **Otryt**: Najbardziej wysunięty na południowy wschód stok Otrytu (Bieszczady) ponad skrzyżowaniem dróg z Ustrzyk Dolnych do Ustrzyk Górnych i do Zatwarnicy. Zbiorowisko łąkowe lub porzucone pastwisko, krzewy niewysokie (do 2 m), mocno cierniste, pojedyncze lub w małych kępach.. Przy pierwszym zbiorze na wiosnę liście były jeszcze nie całkiem wykształcone. W lecie wykonano powtórny zbiór. Częste odrosty świętojańskie, owoce raczej drobne (Materiał własny: **Otryt 0** 26.05.1999 r. oraz **Otryt** 14.08.1999 r.).

2.1.2. Dodatkowe miejsca zbioru spoza terenu Polski

W badaniach uwzględniono też w celach porównawczych trzy próby tarniny pochodzące spoza Polski:

- **Nitra**: Okazy *P. spinosa* L. z Gór(y) Tribec na pn. wsch. od miasta Nitra na Słowacji. (21.08.1973 r. KRAM).
- **Olaszliszka**: Olaszliszka k. Szarospatok na północy Węgier. Mało zwarta kępa zarośli *P. spinosa* L. między polami a drogą. Krzewy raczej młode, niewysokie (do 2 m), dość słabo owocujące niedużymi owocami. (12.08.1999 r. Materiał własny)
- **Gadorosz**: Gadorosz k. Beketszeby na południu Węgier. Na nieużytku oddzielającym pola uprawne od drogi luźne czynniki ze średnio wysokich (do 3 m) krzewów *P. spinosa* L.. Pędy grubsze niż zwykle, owoce bardzo liczne, duże (ok. 17 mm), z

czerwonym(!) miąższem, już dojrzałe i prawie nie cierpkie. (11.08.1999r. Materiał własny)

2.1.3. Okazy innych taksonów rodzaju *Prunus*

Okazy *Prunus spinosa* L. stanowiły główny zrąb materiału, jednak dla umieszczenia zmienności tarniny w szerszym kontekście konieczny był materiał porównawczy dotyczący różnych, mniej lub bardziej pokrewnych form rodzaju *Prunus*. Zbiór dokonano na kilku stanowiskach, ale większość okazów pochodziła z nasadzeń. Materiał pobierany był z pojedynczych osobników - nie stanowił zatem próby statystycznej. Sam sposób zbioru i dalsza procedura obróbki była identyczna jak dla materiału głównego (patrz „2.2. Zbiór liści i skanowanie”).

W zależności od miejsca zbioru okazy materiału porównawczego zostały oznaczone do gatunków, podgatunków, a niekiedy odmian. Ponadto zebrano też pewną liczbą okazów, których cechy wskazywały że są to być może formy mieszańcowe (patrz „2.1.1. Miejsca zbioru na terenie Polski”).

Lista form dokładnie oznaczonych, pochodzących przede wszystkim z Ogrodu Botanicznego PAN w Powsinie i z Ośrodka Doświadczalnego SGGW w Brzeźnej oraz ze stanowisk w Zagórzcu, Śmiłowie i Sandomierzu:

- Prunus spinosa* (okazy przesadzone z Wiednia i Babiej Góry),
- Prunus cerasifera* var. „*atropurpurea*”,
- Prunus cerasifera* var. *divaricata*,
- Prunus cerasifera* var. *orientalis*,
- Prunus domestica* subsp. *domestica* (dziczejąca),
- Prunus domestica* subsp. *domestica* var. „*bluefre*”,
- Prunus domestica* subsp. *domestica* var. „*čačnska leptnica*”,
- Prunus domestica* subsp. *domestica* var. „*čačnska najbolia*”,
- Prunus domestica* subsp. *domestica* var. „*Stanley*”,
- Prunus domestica* subsp. *domestica* var. „*Valor*”,
- Prunus domestica* subsp. *domestica* var. „*Węgierka Bośniacka*”,
- Prunus domestica* subsp. *domestica* var. „*Węgierka Dąbrowicka*”,
- Prunus domestica* subsp. *insititia* var. „*Renkloda Ulena*”,
- Prunus domestica* subsp. *insititia*,

Prunus salicina,

Prunus angustifolia,

Prunus fruticosa.

Wśród form o niepewnym oznaczeniu pochodzących ze stanowisk w Kwidzynie, Sajzach, Sandomierzu i Sulistrowiczkach, były formy o cechach pośrednich między *P. spinosa* a *P. domestica* subsp. *domestica* i *P. domestica* subsp. *insititia* oraz między *P. cerasifera* i *P. domestica* subsp. *insititia*.

Wyjątkową pozycję zajmował dodatkowy materiał uzyskany za pomocą skanowania zdjęć z artykułu (ENDLICH, MURAWSKI 1968) zawierający sylwetki liści sztucznych mieszańców *P. cerasifera* x *spinosa* oraz ich roślin macierzystych, który nie został dołączony do głównego zbioru (por. „4.4.1. Morfometryczna analiza liści sztucznych mieszańców”):

Prunus spinosa,

Prunus cerasifera,

Prunus domestica subsp. *insititia* var. „Grosse Grüne Reneklode”

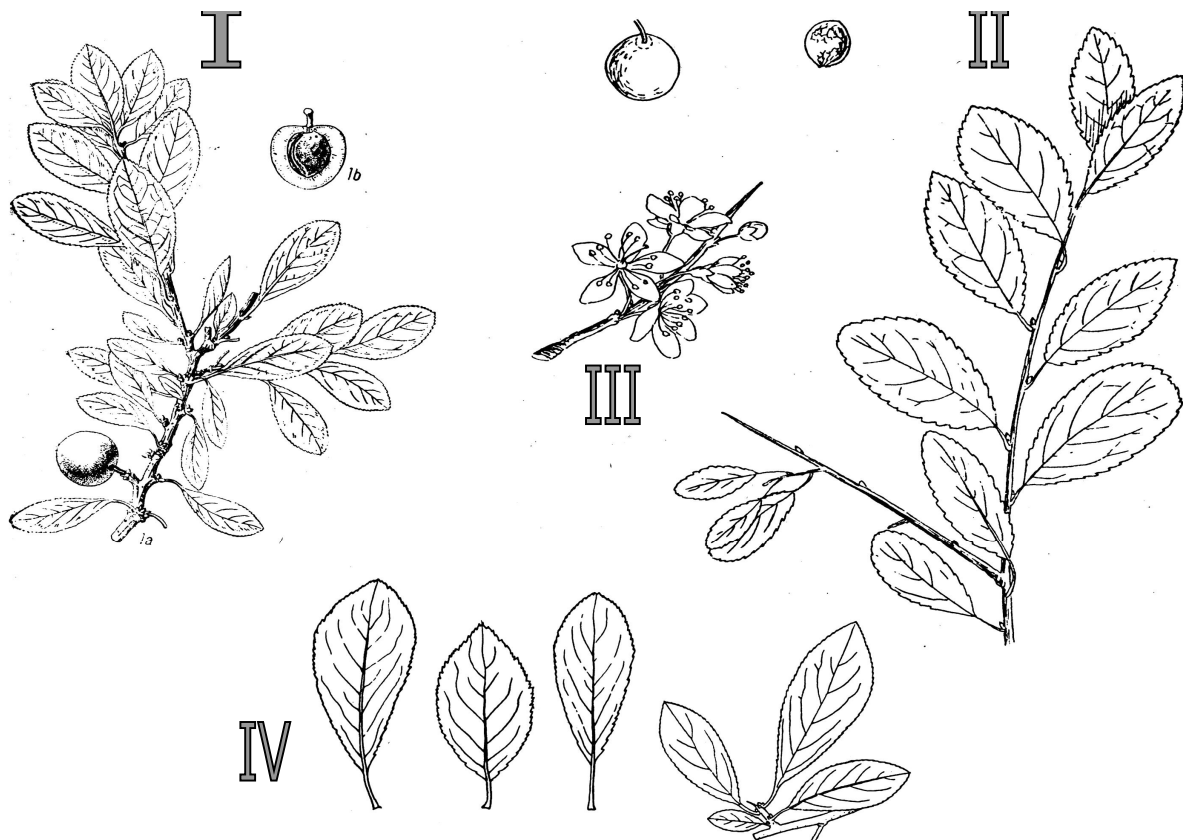
Prunus cerasifera x *spinosa* pokolenie mieszańców F1 ,

Prunus cerasifera x *spinosa* potomstwo F1,

Prunus cerasifera x *spinosa* potomstwo F1 o zbadanej liczbie chromosomów 2N=32,40,48,49,50.

2.2. Zbiór liści i skanowanie

Materiał zawierał końcowe 30-40 cm odgałęzienia pędów zbierane z wysokości od 1 do 2.5 m. po jednym z krzewu (ewentualnie drzewa w wypadku niektórych osobników z taksonów innych niż tarnina). W laboratorium przesuszone pędy rozmięczano w gorącej wodzie i pobierano z nich reprezentatywne odgałęzienia ostatniego rzędu, a z nich liście do pomiarów (Ryc. 8).



Ryc. 8. Tarnina na ilustracjach w różnych źródłach. I -owocująca gałązka z długopędami, krótkopędami (KOMAROW 1964 - „Flora ZSRR”); II - gałązka z długopędem i cierniem z którego wyrasta młody długopęd (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955 - „Flora Polska”); III - stary cierni z kwiatami i owoce (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955); IV - bardzo krótki cierni i różne kształty liści (SENETA 1973).

Liście rozprostowywano na wilgotno na szybie skanera i skanowano w grupach odpowiadających pojedynczemu pędowi ostatniego rzędu. Rozdzielczość skanowania wynosiła 600dpi, a wzorcem wielkości była pomalowana na czarno moneta 1 groszowa o średnicy 15 mm (patrz Ryc. 9). Każdą grupę liści zapisywano w osobnym pliku

rastrowym (w formacie GIF lub PCX) pod unikatową nazwą kodową zawierającą literowy kod stanowiska, gatunku i w wypadku niektórych okazów śliw także odmiany, oraz numer odgałęzienia (okazu) i numer pędu ostatniego rzędu w obrębie okazu (por. Tab. 2). Ponadto dla większości stanowisk skanowano też ogołcone z liści długopędy i ciernie umieszczając je na tych samych obrazach co liście, lub w osobnych plikach.

Tab. 2. Schemat skrótowego kodowania nazw okazów.

Ze względu na różne standardy kodowania polskich znaków narodowych w systemach operacyjnych i programach używanych do obróbki materiału oraz oczywiste problemy z nazwami stanowisk o różnej i zazwyczaj znacznej długości, poszczególnym stanowiskom tarniny przyporządkowano następujące trzyliterowe skróty:					
bie	Bielinek	bor	Boreczno	gad	Gadorosz
gni	Gniew	hom	Homole	jab	Jabłonna
lek	Kamień Leski	les	Lesko	lig	Ligota Dln.
lip	Lipków	mys	Wąwóz myśliborski	nit	Nitra
ola	Olaszliszka	otr	Otryt V 99 r.	otz	Otryt VIII 99 r.
pia	Piaski 98 r.	pib	Piaski 99 r.	pry	Przysłup (Załuz)
pus	Puszczykówko	rud	Rudzienice	san	Sandomierz
sie	Sierpc	sko	Skorocice	skw	Skowronno
sro	Sromowce Niżne	sta	Staw	tap	Tapadły
tsmi	Smiłowo	tun	Tunel	waw	Góra Św. Wawrzyńca
wol	Wolin	zie	Zielony Bór	zmu	Żmudź
zyw	Żywiec				
Podobnie postąpiono z materiałami porównawczymi innych form <i>Prunus</i> . Ponieważ poszczególne stanowiska różniły się znacząco liczbą okazów i dokładnością ich oznaczenia zastosowany został inny dopasowany indywidualnie sposób tworzenia skrótów.					
Skróty takie służyły między innymi do tworzenia kodowych nazw plików na etapie ocyfrowywania i wektoryzacji. Przykładowa nazwa pliku z obrazem liści zebranych jednego długopędu wyglądała następująco:					
Tbie010203a.gif,					
Nazwy kodowe pojedynczych liści powstawały przez uzupełnienie nazwy wyjściowego pliku bitmapy o numer liścia na bitmapie:					
Tbie010203a04.otx					
Gdzie:					
<ul style="list-style-type: none"> • T oznacza okaz tarniny • bie oznacza okaz z Bielinka nad Odrą, • 0102 oznacza numer okazu - „okaz drugi z pierwszego arkusza”; • 03a oznacza trzeci długopęd (typ A) z okazu • 04 oznacza czwarty liść zerwany z tego krótkopędu, przy czym numery zachowują porządek na pędzie ale nie zawsze dokładną kolejność. 					

Ze względu na wspomniane we wstępie duże zróżnicowanie liści i pędów podstawowego materiału (*P. spinosa*), w obrębie każdego osobnika wyróżniono i osobno traktowano trzy kategorie liści w zależności od ich położenia. Liście wyrastające z młodych (najprawdopodobniej zazwyczaj jednorocznych) długopędów oznaczano jako liście typu **A**, liście rosnących bezpośrednio na młodych cierniach, będących u tarniny (i innych śliw) odmianą długopędów o całkowicie zahamowanym (najprawdopodobniej) po jednym sezonie wegetacyjnym wzroście na długość, oznaczano jako typ **B**, wreszcie liście wyrastające z drobnych krótkopędów (o długości od 0.5 do najwyżej 5 mm), które wyrastają na starszych długopędach i cierniach określono jako typ **C**. Powyższy kod typu był ostatnim znakiem nazwy kodowej grupy liści. W wypadku długopędów i cierni, pobierano od jednego do kilku największych liści ze środkowej części, natomiast w wypadku liści krótkopędowych pobierano po jednym największym liściu z losowo wybranych krótkopędów.

Rzadko jednak zdarzało się, by wszystkie typy liści jednocześnie występowały na pędzie, co wynika głównie z występowania różnych form wzrostu pędów. Stosunkowo młode pędy tarniny zbudowane są z rzeczywiście długich długopędów, rzadko rozgałęzionych, za to zaopatrzonych w wyrastające bocznie ciernie. W miarę jak wiodący pęd gałęzi oddala się, a samo odgałęzienie rośnie na grubość i starzeje się, przestają pojawiać się nowe ciernie. Na starszych cierniach z czasem pojawiają się odgałęzienia krótkopędowe, a potem nawet długopędy. Wraz z wiekiem gałęzi pojawiające się młode długopędy osiągają coraz mniejszą długość aż wreszcie na bardzo starych gałęziach przestają być produkowane. Gałęzie takie produkują wyłącznie krótkopędy i tylko przez nie są ulistnione. Stąd przy pobieraniu odgałęzień najwyżej 40 centymetrowych pojawiają się dwie dominujące grupy pędów – ulistnione liśćmi **A** i **B**, oraz ulistnione liśćmi **A** i **C**, trzecią, mniejszą grupę stanowią bardzo stare pędy wyłącznie z liśćmi typu **C**.

Ten schemat w rzeczywistości jest jeszcze bardziej skomplikowany. W sprzyjających warunkach wegetacyjnych pojawiają się tzw. „pędy świętojańskie”, które w materiale zbieranym w lecie wyróżniają się znacznie większą wiotkością i drobniejszymi liśćmi. Na starych gałęziach występują ponadto szczątkowe długopędy nie osiągające nawet 2 cm długości, podczas gdy na szczytowych odgałęzieniach długopędy

mogą osiągać ponad 30 cm zanim ich wzrost zostaje zahamowany. Wreszcie pędy różnych osobników nawet tej samej populacji mogą się znacząco różnić wiotkością, gęstością ulistnienia, długością cierni, odległościami pomiędzy rozgałęzieniami.

Szerokie uwzględnienie tych zależności w opisywanych badaniach nie było możliwe. Zebrano jedynie dane dotyczące długości i grubości odgałęzień ostatniego rzędu, a zróżnicowanie gęstości ulistnienia przekłada się częściowo na liczbę liści reprezentujących poszczególne populacje. Liście z pędów świętojańskich i „poronnych” długopędów (poniżej 1 cm) były całkowicie pomijane.

2.3. Wektoryzacja sylwetek liści i pędów.

Po przeprowadzeniu skanowania wszystkich okazów stanowiska następowała wektoryzacja połączona z oceną jakości liści (czyli stopnia ich zachowania). Wektoryzację przeprowadzano za pomocą programu napisanego przez autora pracy specjalnie do tego celu (patrz „3.1.2. Wektoryzacja obrazów rastrowych”). Dokładność wektoryzacji liści wynosiła 0.025 mm co oznacza że najkrótszy możliwy wektor krawędzi miał właśnie 1/40 mm. Jakość oceniano w skali:0-6. Obiekty o jakości mniejszej niż 3 ostatecznie odrzucono, gdy było już jasne, że pozostałych jest wystarczająco dużo (por. Tab. 3)

Poza wektoryzacją obrazów liści, których pomiary miały stanowić główne dane, analogiczną procedurę zbioru i obróbki cyfrowej równolegle zastosowano do pędów ostatniego rzędu, z których pobierane były liście. Dokładność skanowania i wektoryzacji była dla nich jednak zróżnicowana i zazwyczaj o rząd wielkości mniejsza niż dla liści, ponieważ w ich wypadku chodziło jedynie o możliwość pomiaru dwu podstawowych cechy biometrycznych: długości i szerokości, dla których rozdzielczość obrazu krawędzi ma drugorzędne znaczenie.

Dla liści typu C i dla liści z kilku najwcześniej obrabianych stanowisk nie rejestrowano numerów pędów ostatniego rzędu, stąd liście te mogły być przypisane jedynie do okazu. Z tego powodu w analizie liści (patrz „4.2. Analiza założonych preklasyfikacji liści”) dla liści tych populacji i liści krótkopędowych nie używano cech pędowych, jednak w analizie całych stanowisk cechy pędowe były użyte na podstawie średnich wartości.

W wyniku wektoryzacji powstawały pliki z opisem wektorowym pojedynczych liści i pędów ostatniego rzędu zawierające już informację o skali, na których możliwe były pomiary cech biometrycznych.

2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne

Dokonano automatycznego obliczenia wartości kilkudziesięciu cech biometrycznych dla każdego liścia. Wszystkie cechy mierzone były za pomocą specjalizowanego programu do biometrii sylwetek liści napisanego przez autora. Dokładne algorytmy zastosowane w tym programie opisano dokładniej w części „3.1.3. Pomiary cech biometrycznych”.

Ze względu na sposób liczenia, zastosowane cechy można podzielić na cztery podstawowe grupy (por. MOLVRAY, KORES, DARVIN 1993; BORKOWSKI 1999):

- I. cechy biometryczne naśladujące cechy liści mierzone tradycyjnie, oraz wyliczone z nich stosunki,
- II. cechy fraktalne opisujące złożoność krawędzi blaszki liściowej dla różnych zakresów rozmiaru struktur,
- III. niezmienniki momentów (inwarianty) stanowiące zbiorcze statystyki położenia punktów krawędzi względem środka ciężkości,
- IV. eliptyczne współczynniki Fouriera opisująca obrys blaszki liściowej przez rozłożenie jej kształtu na składowe eliptyczne.

Cech grupy II i IV można wyliczyć dowolnie dużo w zależności od zadanej dokładności analizy, ale powoduje to wzrastające trudności techniczne ze względu na rozmiar plików danych. Tak więc ograniczono ich liczbę już na etapie wstępnym, tj. przygotowywania podstawowego zbioru danych³³.

Ostatecznie lista zastosowanych cech (w większości liściowych) wyglądała następująco:

- BR_L długość pędu, z którego zerwano liść (**mm**),
- BR_W największa szerokość (grubość) tego pędu (**mm**),
- BR_LdW stosunek długości pędu do jego szerokości (**mm**),

³³ Na marginesie warto zaznaczyć, że w odróżnieniu od klasycznych metod biometrii takie pominięcie nie jest nieodwracalne – zawsze w razie potrzeby można powtórnie dokonać analizy plików zwektoryzowanych sylwetek (a ostatecznie nawet bitmapowych) pod kątem innego zestawu cech. Co więcej, mogą to być cechy, które nie zostały jeszcze dotychczas „wymyślone”. Jedynym warunkiem jest by były to cechy konturu lub sylwetki figury.

- PT_L długość ogonka liściowego (**mm**),
- PT_W największa szerokość ogonka liściowego (**mm**),
- BL_L optymalizowana długość blaszki liściowej od nasady ogonka do wierzchołka (**mm**) jako wartość maksymalna z dwóch alternatywnych metod (**mm**), (opisanych w rozdziale „3.1.3.1.2.2. Obliczanie długości i szerokości blaszki liściowej”)
- BL_W optymalizowana szerokość blaszki (**mm**) jako wartość maksymalna z dwóch alternatywnych metod,
- BL_N optymalizowana odległość najszerszego miejsca blaszki liściowej od nasady ogonka (**mm**), jako wartość maksymalna z dwóch alternatywnych metod,
- BL_P obwód blaszki liściowej jako suma długości wektorów przybliżających kontur blaszki (**mm**),
- AREA powierzchnia blaszki liściowej (**mm²**),
- EdgeCnt liczba ząbków wykrytych na wzdłuż krawędzi blaszki liściowej,
- BL_LdW stosunek długości blaszki do jej szerokości,
- BL_PdW stosunek obwodu blaszki do jej szerokości,
- BL_NdL stosunek odległości najszerszego miejsca blaszki do jej długości,
- ANGLT maksymalny lewy styczny kąt szczytowy liczony od szczytu blaszki w dół (**stopnie**),
- ANGRT maksymalny prawy styczny kąt szczytowy (**stopnie**),
- ANGLB maksymalny lewy kąt nasadowy liczony od nasady ogonka w górę (**stopnie**),
- ANGRB maksymalny prawy kąt nasadowy (**stopnie**),
- CR0_1 korelacyjny wymiar fraktalny dla struktur krawędzi o rozmiarach od 0.1-2.0 mm,
- CR0_2 korelacyjny wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-4.5 mm,
- CR0_3 korelacyjny wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-6.50 mm,
- CR0_4 korelacyjny wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-9.0 mm,
- CR4_1 korelacyjny wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-10.0 mm,
- CR4_2 korelacyjny wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-20.0 mm,
- CR4_3 korelacyjny wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-30.0 mm (nie liczone dla większości liści tarniny ze względu na ich zbyt małe rozmiary liniowe),
- CR4_4 korelacyjny wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-40.0 mm (podobnie jak dla poprzedniej cechy wyliczono tylko nieliczne wartości),
- CF0_1 cyrkłowy (albo kompasowy) wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-2.0 mm,
- CF0_2 cyrkłowy wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-4.5 mm,
- CF0_3 cyrkłowy wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-6.50 mm,

- CF0_4 cyrkłowy wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-9.0 mm,
- CF4_1 cyrkłowy wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-10.0 mm,
- CF4_2 cyrkłowy wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-20.0 mm,
- CF4_3 cyrkłowy wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-30.0 mm (podobnie jak dla wymiaru korelacyjnego dla tego zakresu było bardzo mało wyliczalnych wartości),
- CF4_4 cyrkłowy wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-40.0 mm (cecha ta okazała się dla liści tarniny całkowicie nieprzydatna – żaden nie osiągnął wystarczających rozmiarów, natomiast jest użyteczna dla liści innych śliw),
- M_invA niezmiennik momentu I_1 ,
- M_invB niezmiennik momentu I_2 ,
- M_invC niezmiennik momentu I_3 ,
- M_invD niezmiennik momentu I_4 ,
- M_invE niezmiennik momentu I_5 ,
- M_invF niezmiennik momentu I_6 ,
- M_invG niezmiennik momentu I_7 ,
- EF_A1 współczynnik dla **cos(X)** pierwszej harmoniki Fouriera (2π),
- EF_B1 współczynnik dla **sin(X)** pierwszej harmoniki Fouriera (2π),
- EF_C1 współczynnik dla **cos(Y)** pierwszej harmoniki Fouriera (2π),
- EF_D1 współczynnik dla **sin(Y)** pierwszej harmoniki Fouriera (2π),
- EF_A2 współczynnik dla **cos(X)** 2-giej harmoniki Fouriera (π),
- EF_B2 współczynnik dla **sin(X)** 2-giej harmoniki Fouriera (π),
- EF_C2 współczynnik dla **cos(Y)** 2-giej harmoniki Fouriera (π),
- EF_D2 współczynnik dla **sin(Y)** 2-giej harmoniki Fouriera (π),
-
- EF_An współczynnik dla **cos(X)** n -tej harmoniki Fouriera ($\pi*2/n$),
- EF_Bn współczynnik dla **sin(X)** n -tej harmoniki Fouriera ($\pi*2/n$),
- EF_Cn współczynnik dla **cos(Y)** n -tej harmoniki Fouriera ($\pi*2/n$),
- EF_Dn współczynnik dla **sin(Y)** n -tej harmoniki Fouriera ($\pi*2/n$), przy czym w podstawowej analizie ograniczono się do pierwszych 10 harmonik (40 cech), które teoretycznie powinny wystarczyć do opisanego ogólnego kształtu blaszki liściowej z pominięciem informacji o strukturze krawędzi.

2.5. Cechy klimatyczne stanowisk

Każde ze stanowisk opisano danymi geograficznymi i klimatycznymi. Danymi tymi posłużono się w analizach stanowisk i populacji lokalnych. Do ich zestawienia posłużono się ogólnymi mapami geograficznymi i mapami średnich cech klimatu z „Geografii fizycznej Polski” (KONDRACKI 1978), oraz miesiącem i rokiem zbioru dla rozróżnienia prób zbieranych w różnym czasie z tego samego stanowiska. Ostatecznie lista cech stanowisk wyglądała następująco:

- **MIESIĄC** miesiąc, w którym dokonano zbioru,
- **ROK** rok, w którym dokonano zbioru,
- **WSCH/ZCH** odczytana z mapy fizycznej długość geograficzna (w stopniach z uławkami dziesiątymi),
- **PD/PN_____** odczytana z mapy fizycznej szerokość geograficzna (w stopniach z uławkami dziesiątymi),
- **mNPM_____** interpolowana z mapy fizycznej wysokość nad poziomem morza w **m**,
- **OKR_WEG** interpolowana z mapy klimatycznej długość okresu wegetacyjnego w **dniach**,
- **USLONECZ** interpolowane z mapy klimatycznej średnie usłonecznienie w roku w **godzinach na dobę**,
- **OPAD_ROK** interpolowana z mapy klimatycznej średnia suma opadów w roku w **mm**,
- **DNI_MROZ** interpolowany z mapy klimatycznej okres występowania średniej **dobowej** temperatury powietrza poniżej 0 °C,
- **DNI_CIEP** interpolowany z mapy klimatycznej okres występowania średniej **dobowej** temperatury powietrza powyżej 15 °C,
- **IZOT_LIP** interpolowane z mapy klimatycznej izotermy lipca w °C,
- **IZOT_ROK** interpolowane z mapy klimatycznej izotermy roku w °C,
- **IZOT_STY** interpolowane z mapy klimatycznej izotermy stycznia w °C,
- **DNI_SNIE** interpolowana z mapy klimatycznej średnia liczba **dni** w roku z szatą śnieżną,
- **IZAMPLTUDY** interpolowane z mapy klimatycznej izoamplitudy miesięczne roku w °C,
- **ZCHM_LIP** interpolowane z mapy klimatycznej średnie zachmurzenie w lipcu (**skala względna 0-10**),
- **ZCHM_ROK** interpolowane z mapy klimatycznej średnie zachmurzenie w roku (**skala względna 0-10**),
- **ZCHM_STY** interpolowane z mapy klimatycznej średnie zachmurzenie w styczniu (**skala względna 0-10**),
- **STRF_WEG** interpolowana z mapy okresów pylenia pospolitych roślin wiatropylnych przynależność do jednej z czterech wyróżnionych tam stref,

Szczegółowe dane wszystkich stanowisk zestawiono w tabeli „Tab. 20” na str. 161 w „Dodatku A”.

Tab. 3. Zestawienie ilościowe materiału po eliminacji liści i pędów o niedostatecznej jakości.

Liczba	Stanowisk	Osobników / okazów	Długopędów i cierni	Liści
<i>Prunus spinosa</i> L.	34	599	1841	6200
Inne taksony rodzaju <i>Prunus</i>	7	48		883

3. METODY

W tej części przedstawiono dokładniej zastosowane w pracy metody automatycznej biometrii i eksploracyjnej analizy danych. Ze względu na obszerność tematyki, główny akcent został położony na te rozwiązania metodyczne, do których rozwijania autor pracy przyczynił się osobiście, lub ich dokładniejsze wyjaśnienie ma istotne znaczenie dla zrozumienia wyników pracy. W pozostałych przypadkach przytoczono odpowiednie referencje.

3.1. Automatyczna biometria

3.1.1. Pozyskiwanie obrazów obiektów

Zgodnie z usystematyzowaniem jaki daje praca przeglądowa (WHITE, PRENTICE, VERWIJST 1988) procedura „automatycznej biometrii” jest procesem wieloetapowym (por. Ryc. 6, str. 33). Pierwszym etapem automatycznej biometrii musi być pozyskiwanie cyfrowych obrazów badanych obiektów np. liści czy pędów, zapisywanych w jakimś formacie rastrowym czyli w postaci pliku grafiki komputerowej zbudowanej z pikseli („punktów”) rozmieszczonych na siatce prostokątnej³⁴.

3.1.1.1. Procedura skanowania

W niniejszej pracy czarno-białe obrazy sylwetek liści o rozdzielczości 600 dpi uzyskiwano za pomocą stacjonarnego skanera monochromatycznego HP Scan Jet IIp i zapisywano w plikach formatu GIF lub PCX zapewniających dobrą kompresję. Było to konieczne, ponieważ przy stosowaniu tak dużej rozdzielczości pojedynczy skan kilku liści (zwykle o rozmiarze ok. ćwierci karki maszynopisu – czyli formatu A4) zapisany w formacie bez kompresji, np. BMP, może zajmować do kilkudziesięciu megabajtów, a w pracy zanalizowano ponad 2000 takich plików. Jako wzorca wielkości używano przyczernionej monety 1-no groszowej. Poza dostarczonym przez producenta programem obsługi skanera pomocniczo używano też edytora graficznego (Adobe Photoshop).

³⁴ Zadaniu temu służą mniej lub bardziej powszechnie używane urządzenia jak skanery, „przechwytywacze obrazu” (*video frame grabber*), oraz kamery i aparaty cyfrowe.

Znakomitą większość sylwetek uzyskano skanując liście pochodzące z zasuszonych okazów, których odpowiednie fragmenty (odcięte długopędy i ciernie lub większe odgałęzienia) rozmiękczano gorącą wodą na kuwetach fotograficznych.

W przypadku znacznej części osobników pochodzących z hodowli (Powsin i Brzeźna) skanowano świeże liście zebrane poprzedniego dnia bezpośrednio do kopert, ponieważ nie było możliwości zbioru większej ilości gałęzi.

Wykorzystano też technikę skanowania zdjęć w celu uzyskania sylwetek liści mieszańców *Prunus spinosa x cerasifera* z artykułu (por. „2.1.3. Okazy innych taksonów rodzaju *Prunus*”).

3.1.1.2. Uwagi o technologii skanowania

Przy obecnym stanie technologii użycie aparatu cyfrowego czy stacjonarnej kamery video lub cyfrowej nie dorównuje jeszcze użyciu prostego skanera stacjonarnego. Przy dużo niższej cenie skaner oferuje znacznie większą rozdzielczość i możliwość optymalizowanego dla konkretnego sprzętu pozyskiwania sylwetek czarno-białych. W wypadku zdjęć cyfrowych operację przejścia z obrazu kolorowego lub „w odcieniach szarości” trzeba zwykle wykonać za pomocą jakiegoś edytora graficznego. Zazwyczaj potrzebny też jest znacznie większy retusz i rozdzielenie elementów obrazu, które mają być mierzone. Aparat cyfrowy może być używany bezpośrednio w terenie, lecz nie jest to znacząca przewaga tym bardziej, że sfotografowane okazy zwykle i tak muszą być następnie zebrane, chyba że chodzi o badanie nieniszczące, np. wielokrotny pomiar tego samego okazu w ciągu sezonu wegetacyjnego. Oczywiście stosowane skanery stacjonarne nie mogą być urządzeniami o konstrukcji zakładającej, że obiektem skanowanym jest kartka papieru, którą można dowolnie przesuwac i przewijać przez wałki. Nie tylko liście i pędy roślin, ale nawet typowe materiały fotograficzne nie wytrzymują takiego traktowania.

Zbiór i skanowanie liści wymaga wypracowania odpowiednich zasad, zapewniających działanie bezbłędne, a jednocześnie szybkie i skuteczne. Niekiedy mogą być one znacząco odmienne od przyjętych w tradycyjnej biometrii, lub zupełnie nowe i nie mające dotychczas odpowiednika (por. „2.2. Zbiór liści i skanowanie” i „2.3. Wektoryzacja sylwetek liści i pędów”). W zależności od używanego sprzętu muszą być dostosowane procedury zbioru i konserwacji materiału. Jeśli do ocyfrowywania korzysta się ze skanera, to można używać materiału świeżego lub suszonego, rozmiękczonego gorącą wodą. W przypadku cennych materiałów zielnikowych, których żaden fragment nie może zostać zniszczony, można posłużyć się aparatem cyfrowym, a następnie przeprowadzić konieczną obróbkę powstałych obrazów rastrowych (bitmapowych). W wypadku drobnych lub mikroskopijnych obiektów można użyć kamery podłączonej do binokularu lub mikroskopu. W sytuacjach szczególnych można nawet skanować klasyczne, np. pochodzące sprzed lat fotografie okazów zielnikowych, o ile można ustalić rzeczywiste rozmiary okazu.

3) Materiał zbierany w terenie z myślą o skanowaniu nie musi być tak starannie pielęgnowany jak klasyczne okazy zielnikowe (choć oczywiście może, jeśli siły i środki na to pozwalają). Wymagane jest, by liście były zachowane w całości i w kontakcie z macierzystym okazem, ale nie ma konieczności tak starannego ich rozdzielania i prostowania jak w przypadku okazu przeznaczonego na arkusz zielnikowy. Praca ta i tak musi zostać wykonana już po przeniesieniu rozmiękczonego i oddzielonego od pędów liści na płytę skanera. Dopiero po zeskanowaniu mogą być one suszone w celach archiwizacyjnych. Możliwy jest nawet, w razie konieczności, zbiór materiału do torebek foliowych z pominięciem etapu prasowania, choć trzeba się wtedy liczyć ze znaczną utratą liści już w pracowni, w trakcie selekcji i rozmiękczenia materiału. Należy też zwrócić uwagę by w przypadku skanowania liści rozmiękczonego gorącą wodą jej nadmiar usuwać ze względu na niebezpieczeństwo uszkodzenia skanera i zniekształcające obraz załamania światła. W przypadku skanerów ręcznych konieczne jest układanie liści na miękkim białym tle o zdolnościach absorpcji wody (najlepiej bibuły filtracyjnej) i stosowanie osobnej szyby dociskowej, natomiast w przypadku skanerów stacjonarnych wilgotność liści jest nawet wskazana, gdyż ułatwia unieruchomienie na płycie większej ich liczby zanim zostaną ostatecznie przykryte pokrywą.

W zależności od wykonywanych pomiarów można zastosować różną rozdzielczość pozyskiwanego obrazu. Mniejsza rozdzielczość oszczędza czas pracy i miejsce na nośnikach, ale zmniejsza też potencjalną wartość dokumentacyjną tak uzyskanych plików i uniemożliwia wykonanie na nich precyzyjniejszych badań w przyszłości. Należy też pamiętać o umieszczeniu na każdym obrazie wzorca wielkości pozwalającego łatwo ustalić rzeczywiste rozmiary liścia nawet w wypadku utraty towarzyszącej plikowi dokumentacji. Takie obrazy sylwetek liści mogą na równi lub obok okazów zielnikowych służyć jako archiwum wykonanej pracy biometrycznej, mając tę, niekiedy istotną, przewagę, że są czystą informacją. Informację zaś łatwiej odnajdywać, transportować i przechowywać, a ponadto można ją także kopiować co w stosunku do okazu zielnikowego jest raczej niemożliwe.

3.1.2. Wektoryzacja obrazów rastrowych

W drugim etapie procedury automatycznej biometrii, rastrowe pliki obrazów liści służą jako materiał wejściowy dla procedury wektoryzacji, która przekształca kontury poszczególnych sylwetek liści w ich opis wektorowy. Opis ten przedstawia kontur figury w postaci łamanej zbudowanej z odcinków o wyróżnionym kierunku (wektorów związanych).

W niniejszej pracy uznano za wskazane, by dokładność odwzorowania wektorowego nie była limitująca dla precyzji pomiarów. Dlatego zastosowano reprezentację zmiennopozycyjną, w której krawędź figury opisana jest listą par liczb rzeczywistych³⁵: długości składowego wektora oraz jego kąta do osi rzędnych układu współrzędnych kartezjańskich. W odróżnieniu od stosowanego niekiedy kodowania wektorów pojedynczymi liczbami całkowitymi³⁶ (PARUI, DUTTA-MAJUMDER 1983; WHITE I IN. 1988; MORACZEWSKI 1998), taka postać danych nie powoduje utraty żadnej istotnej informacji o konturze. Straty mogą powstać jedynie w związku z niekorzystnym stosunkiem rozdzielczości wejściowej bitmapy lub rozdzielczości wektoryzacji (najmniejszej długości składowych wektorów) do złożoności liścia.

W bardzo dawnych pracach opis wektorowy uzyskiwano „ręcznie” np. za pomocą digitizerów (WEST, NOBLE 1984; VLCEK, CHEUNG 1986), zwykle z pominięciem etapu bitmapy. Obecne możliwości komputerów pozwalają tę operację przeprowadzić automatycznie³⁷.

³⁵ W 8-mio bajtowym formacie zmiennopozycyjnym

³⁶ Kod wektora oznacza jego przynależność do jednego z 8,16 albo 32 segmentów na jaki podzielony jest kąt pełny (360 stopni).

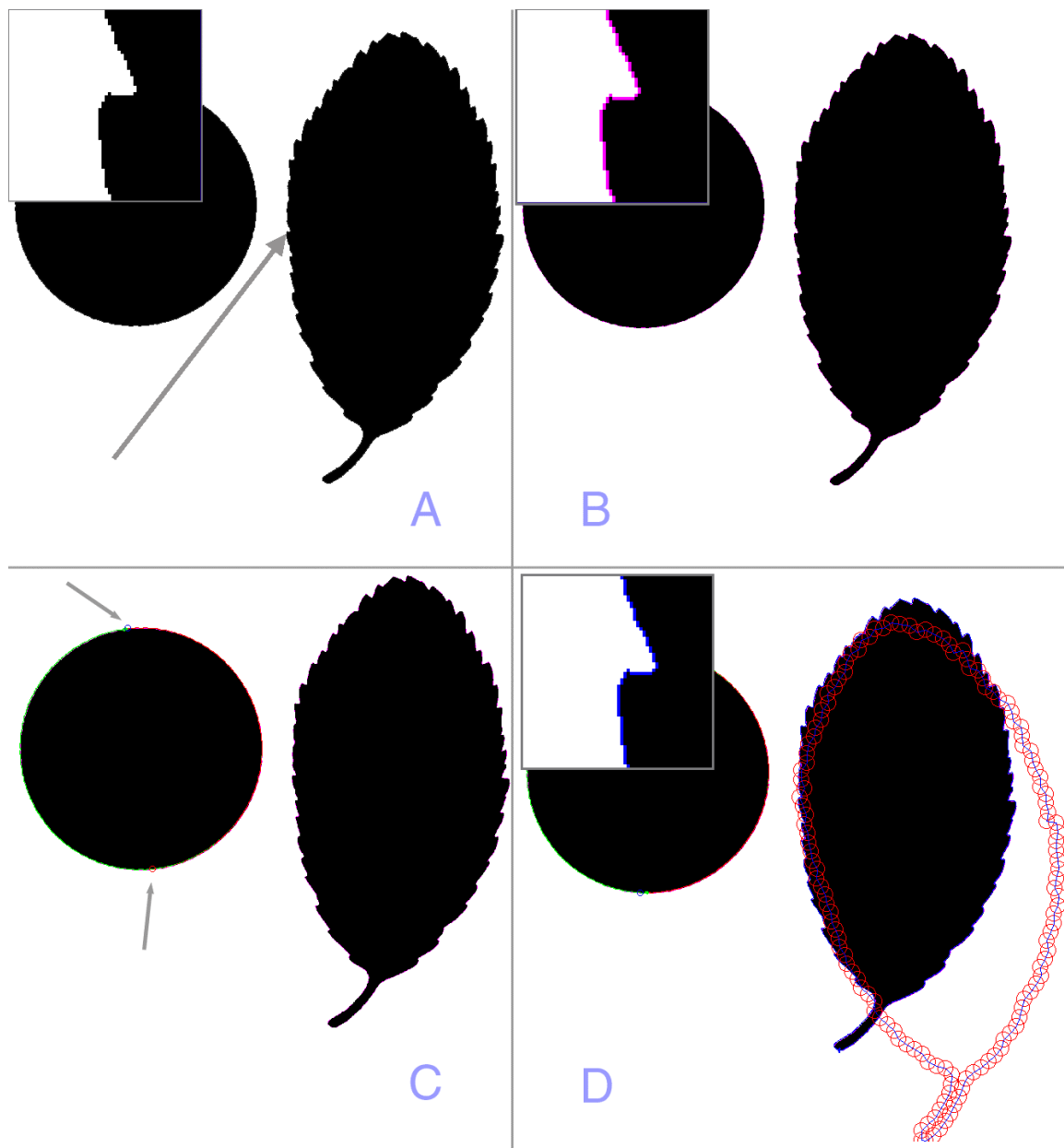
³⁷ Istnieje wiele lepszych i gorszych metod wektoryzacji grafiki rastrowej. Wiele zaimplementowano w programach komercyjnych. Przykładem może być choćby program Trace z pakietu Corel Draw. Ponieważ odnajdywanie konturów i ich wektoryzacja są jednym z ważniejszych zagadnień „analizy obrazowej” algorytmy te są często bardzo skomplikowane i kosztowne obliczeniowo. Ponadto bywają nadmiernie

3.1.2.1. Algorytmy wektoryzacji

W tej pracy posłużono się napisanym w całości przez autora programem do wektoryzacji liści. Program stanowi implementację prostego algorytmu, w znacznym stopniu oryginalnego i wyspecjalizowanego w kierunku dwukolorowych zamkniętych konturów z wyróżnionym początkiem, którym w wypadku liści w naturalny sposób jest koniec ogonka liściowego (miejsce oderwania od pędu), a w wypadku pędów ich nasada. Dodatkowo program jest dostosowany do używania umieszczonego na każdej bitmapie wzorca wielkości dzięki czemu można zawsze, niezależnie od źródła danych rastrowych, obliczyć i dołączyć do wyjściowej postaci wektorowej informacje o faktycznych rozmiarach sylwetki liścia.

Sama procedura wektoryzacji w zastosowanym programie przebiega etapami. Najpierw znajdowana jest i zaznaczana odrębnym kolorem granica faz, czyli wszystkie granice czarnego i białego koloru obecne w obrazie. W zależności od ustawienia opcji przez operatora zaznaczenie może być umieszczone po białej lub po czarnej stronie granicy faz, lub też częściowo po jednej, a częściowo po drugiej stronie. Rozróżnienie to jest istotne w wypadku liści posiadających ostro zakończone ząbki lub wgłębienia, gdyż ich zakończenia są wtedy na granicy rozdzielczości obrazu i mogą sprawiać trudność właściwym algorytmom wektoryzacyjnym. W przypadku liści tarniny, których sylwetki są stosunkowo nieskomplikowane, ma to znaczenie marginalne, chyba że mamy do czynienia z liściem uszkodzonym w specyficzny sposób (np. naderwanym). Na ilustracji (Ryc. 9) można zobaczyć poszczególne etapy wektoryzacji.

uniwersalne lub też wyspecjalizowane w kierunku zagadnień odległych od tego co byłoby potrzebne w pracach dotyczących biometrii roślin.



Ryc. 9. Etapy wektoryzacji. **A** - czarno-białe sylwetki liścia i wzorca wielkości. Szara strzałka wskazuje centrum obszaru powiększonego w kwadracie o szarych krawędziach. **B** – odnaleziona granica kolorów markowana jest kolorem fioletowym. **C** – odnaleziono dwa najbardziej odległe od siebie punkty wzorca wielkości (wskazywane szarymi strzałkami). Ich odległość jest rozmiarem wzorca w pikselach obrazu. **D** - wykonano wektoryzację. Wykorzystane już przez procedurę wektoryzacji punkty granicy są markowane kolorem niebieskim. Na przedstawionym konturze wierzchołek każdego wektora składowego otoczony jest fioletowym okręgiem.

Stosowano dwa alternatywne algorytmy wektoryzacji. Oba opierają się na dołączaniu do siebie kolejnych pikseli konturu (czyli uprzednio znalezionej „granicy faz”) i budowaniu wektora w momencie, gdy odległość pomiędzy krańcowymi pikselami tak powstałego ciągu przekroczy graniczną wartość. Pierwszy punkt każdego konturu

musi zostać wskazany przez operatora. Dzięki temu każdy kontur posiada wyróżniony i merytorycznie spójny punkt startowy i unika się przypadkowej orientacji, która wprowadzałaby dodatkową i zbędną złożoność na etapie pomiarów.

Różnica pomiędzy algorytmami wektoryzacji przejawia się w sposobie reakcji na możliwe (w przypadku „nieidealnym”) rozgałęzienia i nieciągłości granicy faz zamarkowanej uprzednio przez procedurę przygotowawczą. Jeden algorytm usiłuje połączyć wszystkie fragmenty, o ile jest możliwe jednoznaczne połączenie, alternatywny zaś stosuje podejście probabilistyczne i wybiera jedną z dróg, a w wypadku utraty ciągłości wykonuje spiralne, a potem losowe poszukiwanie następnego zaznaczonego punktu granicy faz (na podobieństwo psa gończego, który zgubił ślad).

3.1.2.2. Algorytm oczyszczania obrazu

Choć zazwyczaj jeden albo drugi algorytm wektoryzacji jest skuteczny, niekiedy przy obrazach niskiej jakości (np. ze względu na małą kontrastowość materiału liściowego lub maskowanie konturu np. przez włoski) konieczne są dodatkowe zabiegi usuwania artefaktów obrazu. Usuwanie artefaktów można w programie wykonać automatycznie używając do tego celu nieco zmodyfikowanego algorytmu opartego na „modelu wpływu społecznego” (NOWAK I IN. 1990; LEWENSTEIN I IN. 1992). W skrócie polega on na zmienianiu na przeciwny koloru tych pikseli, które nie mają wystarczającej liczby bezpośrednich sąsiadów w tym samym kolorze. Prowadzi to do sukcesywnego wygładzania granic obszarów różniących się kolorem, tym dokładniejszego, im więcej przebiegów algorytmu się stosuje. Liczbowy odpowiednik „wystarczającej liczby” oraz liczbę cykli zamian trzeba dobrać odpowiednio do potrzeb konkretnego materiału. Dla liści w tej pracy stosowano „wystarczającą liczbę sąsiadów” równą 2 oraz od 2 do 4 cykli.

W przypadku większych uszkodzeń liści, dokonywano retuszu ich obrazów za pomocą edytora graficznego.

3.1.3. Pomiary cech biometrycznych

W poprzednim etapie procedury automatycznej biometrii obiekty badane są już wyodrębnione z obrazu rastrowego (bitmapowego) i zakodowane w formacie wektorowym. Można teraz przystąpić do ich pomiarów.

Do pomiarów stosowane bywają zarówno procedury pomiarowe komercyjnych analizatorów obrazu ogólnego przeznaczenia (np. ZAKRYŚ I IN. 1996; GOŁĄBEK 2000; SZYMAŃSKA I GOŁĄBEK W PRZYG.), jak też specjalnie napisane programy. W wielu pracach stosuje się to drugie podejście (np. CIEŚLAK 2001) przy czym niekiedy są to już bardzo wyspecjalizowane, profesjonalne pod względem informatycznym programy do biometrii (MOLVRAY I IN. 1993). Jak dotąd jednak brak jest szeroko dostępnych programów pozwalających na zintegrowane stosowanie większości używanych na świecie metod i pomiar naprawdę dużej liczby cech, co jest wskazane, gdy w grę wchodzi złożone zagadnienia i współpraca z metodami analizy wielozmiennowej. Dlatego w tej pracy autor posłużył się napisanym przez siebie programem do automatycznej biometrii o nazwie SCANDIX³⁸.

W programie tym zaimplementowano zarówno podstawowe, klasyczne, pomiary biometryczne, jak analizę metodą eliptycznych współczynników Fouriera i metodę tzw. „niezmienników momentów” (*moment invariants*). Jest też w stanie wyliczać cechy oparte na idei wymiaru fraktalnego (BORKOWSKI 1999), oraz statystyki struktur krawędzi blaszki w oparciu o metodę „gramatyk kształtu” (JAKUBOWSKI 1986; MORACZEWSKI 1998). Niestety ta ostatnia funkcja ze względu na dużą wrażliwość na „zaszumienie” krawędzi liści wektoryzowanych z wysoką rozdzielczością wymaga jeszcze dopracowania i ostatecznie wyniki uzyskane tą metodą nie były w tej pracy intensywnie wykorzystywane.

³⁸ Pierwsza wersja programu SCANDIX powstała dla potrzeb artykułów metodycznych porównujących powszechnie stosowane metody analizy obrazów ze świeżo przeszczepionymi na grunt automatycznej biometrii (MORACZEWSKI, BORKOWSKI 1997; MORACZEWSKI, 1998; BORKOWSKI 1999). Dalszy rozwój programu nastąpił w związku z omawianymi tu badaniami nad zmiennością *Prunus spinosa*, a w perspektywie może on zostać zastosowany jako element systemu „automatycznej identyfikacji roślin wyższych w oparciu o cechy morfologiczne liści”. Obecnie program ten może pracować zarówno w trybie interakcyjnym, jak i, co cenniejsze, także w trybie całkowicie wsadowym nie angażującym czasu operatora.

Tab. 4. Zestawienie informacji o użytych w pracy metodach pomiarowych.

Rodzaj miary	Podstawa matematyczna	Zastosowania w innych dziedzinach analizy obrazu	Zastosowania w biometrii	Implementacja w programie SCANDIX
Cechy metryczne: wymiary liniowe obiektu, obwód, powierzchnia, kąty wierzchołka i podstawy, itp.	Geometria analityczna	Powszechne	Powszechne, wykonywane ręcznie lub półautomatycznie, jako element metody „Stałych Markerów” (<i>landmarks & pseudolandmarks</i>)	Wykonywane automatycznie, procedury pomiarowe generują „punkty charakterystyczne”
Automatyczne odnajdywanie i pomiar ogonka liściowego	Geometria analityczna, teoria optymalizacji, podejście heurystyczne	Nie dotyczy	Cecha stosowana powszechnie, ale brak wcześniejszych doniesień o pomiarach automatycznych	Wykonywane automatycznie
Wymiary fraktalne do pomiaru złożoności krawędzi obiektu	Geometria fraktalna	Coraz częściej stosowana (Kenkel, Walker 1996)	Jedna próba zastosowania do liści, z wnioskiem negatywnym (Vlcek, Cheung 1986)	Wykonywane automatycznie (Moraczewski, Borkowski 1997, Borkowski 1999)
Eliptyczne współczynniki Fouriera	Analiza Fourierowska, geometria analityczna	Powszechne, także systemy militarne i przemysłowe (Gerhards i in. 1993)	Ograniczona stosowalność w biometrii botanicznej – tylko proste liście (Leastrel (red) 1997)	Wykonywane automatycznie (Moraczewski, Borkowski 1997, Moraczewski 1998)
Niezmienniki momentów (<i>moment invariants</i>)	Geometria analityczna, statystyka, podejście heurystyczne	Znane, np. Rozpoznawanie sylwetek w systemach militarnych (Dudani i in. 1977)	Ograniczona stosowalność w biometrii botanicznej – zbyt zgrubna metoda (White i in. 1988)	Wykonywane automatycznie (Moraczewski 1998)
Gramatyki kształtu (<i>shape feature description language</i>)	Gramatyki formalne, teoria automatów, geometria analityczna	Stosowane w robotyce i przemyśle np. do automatycznego rozpoznawania części maszyn (Jakubowski 1986, 1989)	Publikacje metodyczne (Moraczewski, Borkowski 1997, Moraczewski 1998)	Nieco zmieniony algorytm wg (Moraczewski 1998), obecnie tylko dla niewielkich rozdzielczości wektoryzacji

Zestawienie metod biometrycznych zaimplementowanych w programie przedstawia tabela (Tab. 4), a ich szczegółowy opis przedstawiono dalej.

3.1.3.1. Automatyczne pomiary klasycznych cech biometrycznych.

Jak już zwracano uwagę wcześniej (patrz 1.2.3. Paradygmat automatycznej biometrii) nawet proste z pozoru pomiary liścia, jeśli mają być wykonane przez komputer, wymagają złożonego aparatu informatycznego. Ponadto do prawidłowej

dekompozycji liścia na elementy składowe np. ogonek, ząbki, karby itd. konieczne jest (przynajmniej częściowe) przełożenie intuicji i doświadczenia człowieka na algorytm. Dodatkowym utrudnieniem jest nieuniknione z przyczyn technicznych zubożenie informacji przedstawianej programowi. Człowiek patrząc na liść widzi znacznie więcej. Nie tylko dwuwymiarowy kontur blaszki liściowej, ale także kolor, grubość, żyłki, włoski itd. Tak pełny opis byłby dla obecnych komputerów zbyt złożony, konieczne są więc kompromisy. Ostatecznie prowadzi to do algorytmów optymalizacyjnych, probabilistycznych, heurystycznych czy wreszcie do kilku alternatywnych metod mierzenia tej samej wielkości, dających nieco odmienne rezultaty.

Algorytmy te w większości przypadków opierają się na opisie liścia w postaci uporządkowanego zbioru punktów lub odcinków na płaszczyźnie, a znacznym uproszczeniem, zastosowanym w tej pracy już na etapie wektoryzacji, jest wskazywanie przez operatora jednego dobrze zdefiniowanego punktu jakim jest miejsce oderwania ogonka liściowego od pędu. Łącząc tą informację z innymi, przynajmniej „zazwyczaj prawdziwymi” własnościami sylwetek liści (np. ich symetrią), można automatycznie odnaleźć pozostałe punkty charakterystyczne konieczne zarówno do pomiarów liniowych jak i do dalszych analiz.

3.1.3.1.1. Heurystyczna metoda odnajdywania ogonka liściowego

Jest oczywiste, że jeśli liść posiada ogonek, który w istotny sposób różni się od blaszki, to większy sens ma mierzenie obu tych elementów oddzielnie niż razem. Jednak ściśle i ogólne „zdefiniowanie” ogonka, szczególnie w sytuacji gdy mamy do dyspozycji tylko kontur liścia nie jest możliwe. Można jednak zastosować heurystyczny algorytm optymalizacyjny, który będzie działał prawidłowo w większości przypadków.

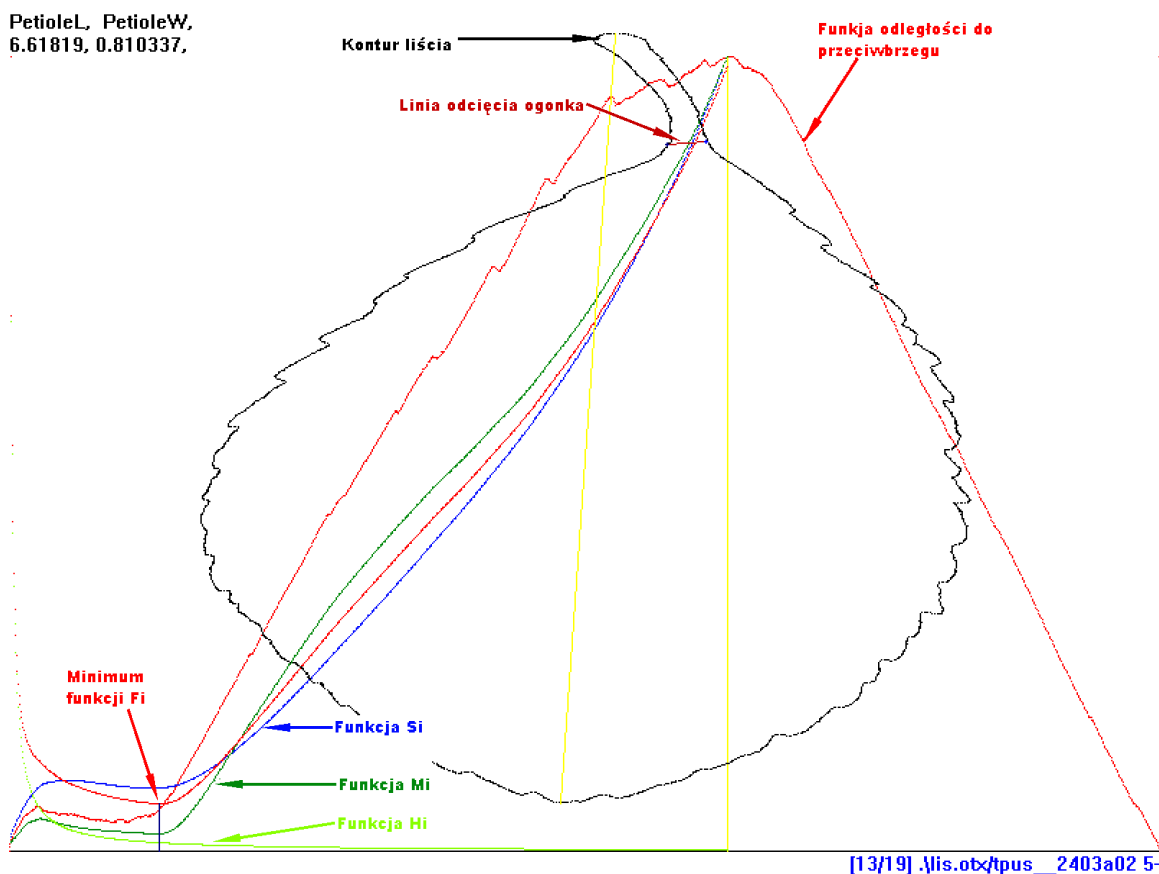
Algorytm użyty w omawianym tu programie opiera się na następujących zazwyczaj poprawnych założeniach:

- liść jako całość jest „prawie symetryczny”,
- ogonek jest zazwyczaj wyraźnie węższy od blaszki liściowej,
- krawędzie ogonka są zazwyczaj (prawie) równoległe lub nawet zwężające się w kierunku blaszki,
- a jeżeli nie są takie z powodu przylistków czy oskrzydlenia to długość odcinków nierównoległych jest wyraźnie mniejsza niż długość blaszki.

- ogonek ma zwykle długość „porównywalną” z blaszką (tzn. można przyjąć graniczną wartość stosunku tych długości poniżej której można uznać, że wykryty ogonek to artefakt. np. 1:50),

W szczególach wygląda to następująco:

1. Z opisu wektorowego odtwarzany jest uporządkowany zbiór punktów płaszczyzny wchodzących w skład krawędzi liścia.
2. Zbiór punktów jest dzielony na dwie połowy odpowiadające w przybliżeniu prawej i lewej stronie liścia.
3. Dla każdego punktu pierwszej połowy znajdujemy najbliższy mu punkt drugiej połowy i zapamiętujemy odległość.
4. Znajdujemy punkt pierwszej połowy mający największą wartość odległości. Jest to punkt ograniczający. Ogonek jeśli jest musi kończyć się gdzieś pomiędzy znanym (*a priori*) początkiem konturu, a tym punktem.
5. Dla każdego punktu pierwszej połowy konturu znajdującego się pomiędzy punktem początkowym, a punktem ograniczającym liczymy złożoną z trzech składowych funkcję optymalizacyjną, której składowe są numerycznym wyrażeniem przedstawionych powyżej założeń.
6. Szukamy punktu gdzie funkcja optymalizacyjna ma wartość minimalną.
7. Jeśli wartość minimum występuje, punkt ten przyjmujemy za najlepszy potencjalny punkt rozcięcia ogonka i blaszki i wykonujemy testy sprawdzające założenia , po których pozytywnym wyniku uznajemy ogonek za znaleziony.



Ryc. 10. Wizualizacja sporządzona przez program w trakcie wykonywania procedury poszukiwania ogonka liściowego. M_i , S_i , H_i wyrażają liczbowo założenia heurystyczne służące do utworzenia kompleksowej funkcji F_i wyrażającej jakość podziału liścia w punkcie i . Sylwetka liścia jest tu zniekształcona. Objaśnienie algorytmu w tekście.

3.1.3.1.2. Podstawowe pomiary blaszki liściowej

Po ustaleniu miejsca odcięcia ogonka od blaszki lub ustaleniu, że liść jest bezogonkowy, znane są dwa punkty blaszki liściowej: jej początek po prawej i po lewej stronie konturu. Informacja taka jest wystarczająca do obliczenia **obwodu blaszki** będącego sumą długości wektorów opisu konturu znajdujących się pomiędzy punktem odcięcia blaszki po lewej stronie, a punktem odcięcia blaszki po prawej stronie, oraz powierzchni blaszki jako pola wielokąta zamkniętego przez te wektory. Ponadto można obliczyć, jej cechy fraktalne, eliptyczne współczynniki Fouriera i niezmienniki momentów (por. „3.1.3.3.

Obliczanie niezmienników momentów” i „3.1.3.4. Obliczanie Eliptycznych Współczynników Fouriera”). Każdy z tych pomiarów opiera się na ścisłym, deterministycznym algorytmie i jest łatwy do wykonania tylko za pomocą komputera, żeby natomiast móc obliczyć klasyczne cechy biometryczne jak długość, szerokość, kąt itp., konieczne jest użycie heurystycznych algorytmów optymalizacyjnych (1.2.3. Paradygmat automatycznej biometrii).

3.1.3.1.2.1. Wyznaczanie wierzchołka blaszki liściowej

Następnym krokiem po odnalezieniu początku blaszki musi być znalezienie jej szczytu. W tym celu można posłużyć się następującymi, nie zawsze idącymi w parze własnościami, które jednak dla większości liści dają zadowalające efekty:

- Zazwyczaj szczyt blaszki jest położony w przybliżeniu symetrycznie, czyli przeprowadzenie linii prostej między początkiem a szczytem blaszki liściowej dzieli ją na dwie podobne części (za wyjątkiem liści silnie asymetrycznych).
- Często szczyt blaszki jest punktem najbardziej odległym od jej początku (za wyjątkiem liści z wklęsłym szczytem lub znacznie szerszych niż długich).

Zastosowanie tych własności ogólnych w kilku alternatywnych algorytmach, analogicznych choć nieco prostszych od przedstawionego w poprzednim rozdziale, prowadzi do wyłonienia szeregu potencjalnych punktów szczytowych. Są to: punkt najdalszy od początku blaszki, punkt znajdujący się na przecięciu linii wyznaczonej przez początek blaszki i jej środek ciężkości z krawędzią blaszki, punkt dzielący obwód blaszki na dwie równe części, oraz punkt, dla którego iloraz sum odległości punktów prawej strony do początku blaszki i punktów lewej strony do początku blaszki jest najbardziej bliski jedności. Ze zbioru potencjalnych punktów szczytowych właściwy szczyt jest w programie wybierany następującym prostym algorytmem „kolejnego odrzucania”:

- W każdym kroku algorytmu ze zbioru punktów odrzucany jest jeden najbardziej odległy wzdłuż krawędzi blaszki od pozostałych (którego suma odległości do pozostałych jest największa), aż do momentu pozostania dwóch punktów, dla których wyznaczany jest punkt równoodległy od obu będący poszukiwanym wierzchołkiem.

Ponieważ zazwyczaj część hipotetycznych punktów szczytowych się pokrywa lub leży bardzo blisko siebie ostateczne uśrednienie nie wprowadza zwykle błędów. Alternatywnym rozwiązaniem, w tej pracy nie stosowanym, jest wybranie tego z dwóch

punktów, który ma mniejszą średnią odległość do wcześniej odrzuconych sąsiadów. Rozwiązanie to wymaga jednak dalszego testowania.

3.1.3.1.2.2. Obliczanie długości i szerokości blaszki liściowej

Dalsze pomiary sprowadzają się do zastosowania reguł geometrii analitycznej na płaszczyźnie dotyczących wzajemnych relacji punktów, odcinków i prostych, z drobnymi modyfikacjami związanymi ze stosowaniem arytmetyki zmiennoprzecinkowej np. unikanie dzielenia przez siebie liczb znacznie różniących się wykładnikiem ponieważ prowadzi to do poważnych niedokładności. Z tego powodu przed wykonaniem wszelkich pomiarów blaszki warto reprezentujący ją zbiór punktów obrócić tak by oś blaszki była pod kątem 45° do osi układu współrzędnych.

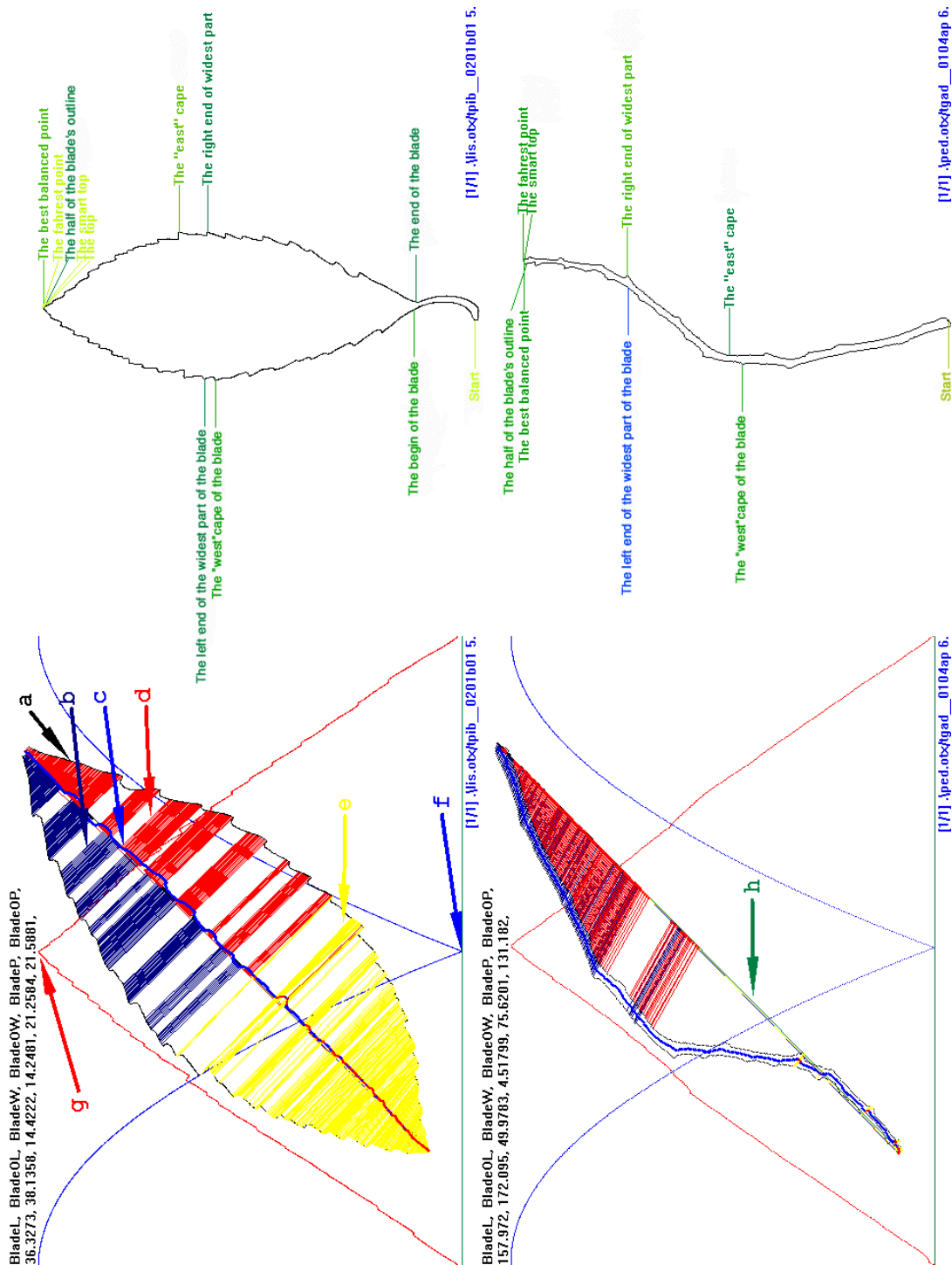
Dla liści w przybliżeniu symetrycznych, znając położenie szczytu blaszki można zmierzyć jej długość jako długość odcinka łączącego początek i szczyt blaszki. Następnie, szukając najdłuższych odcinków prostopadłych do danego i przechodzących przez zadane punkty możemy łatwo znaleźć punkty konturu najbardziej odległe od osi blaszki w jej prawej i lewej połowie. W ten sposób możliwe jest zmierzenie szerokości blaszki. Wreszcie, odnajdując najdłuższy odcinek prostopadły do osi, a ograniczony punktami z lewej i prawej strony blaszki, możemy znaleźć najszersze miejsce blaszki liściowej i określić jego położenie jako odległość punktu przecięcia odcinka z osią i punktu początkowego osi czyli punktu odcięcia blaszki liściowej.

Dla liści asymetrycznych lub wygiętych, a także, jak w przypadku tej pracy, dla pędów nie można stosować tak prostej metody. Chociaż punkt szczytowy jest zazwyczaj znajdowany poprawnie, to odcinek łączący go z punktem początkowym może przebiegać poza obszarem blaszki liściowej czy konturu pędu, co powoduje, że wartości pomiarów są zaniżone lub zupełnie nieprawidłowe. Dla takich przypadków zastosowanie ma algorytm alternatywny: Oś środkowa obiektu jest tu wyznaczana przez środki odcinków budowanych na kolejnych parach punktów, jednego z lewej i jednego z prawej strony punktu szczytowego pod warunkiem że odległość kolejnych punktów środkowych od wierzchołka nie maleje. Długość obiektu (blaszki, pędu) jest w tym wypadku długością tak wyznaczonej łamanej, szerokość obiektu jest długością najdłuższego z odcinków służących do odnalezienia łamanej, a położenie najszerszego miejsca obiektu jest to

odległość punktu środkowego najdłuższego odcinka od początku blaszki licząc wzdłuż łamanej.

Również ta metoda znajdowania wymiarów blaszki nie może być stosowana we wszystkich przypadkach. Stąd w zależności od konkretnego materiału, który ma być badany, jeśli wartości uzyskane alternatywnymi metodami różnią się znacząco trzeba rozważyć wybrać takie pomiary, do których można mieć zaufanie. Łatwo to zrobić przyglądając się, jak i gdzie dla wybranych obiektów program umieścił omawiane poprzednio punkty charakterystyczne, zwane też w piśmiennictwie anglojęzycznym (*pseudolandmarks*)³⁹. Przykłady rozmieszczenia takich punktów dla liścia i długopędu tarniny przedstawia ilustracja (Ryc. 11).

³⁹ Wyboru tego nie trzeba dokonywać dla każdej blaszki z osobna a raczej dla poszczególnych klas kształtów.

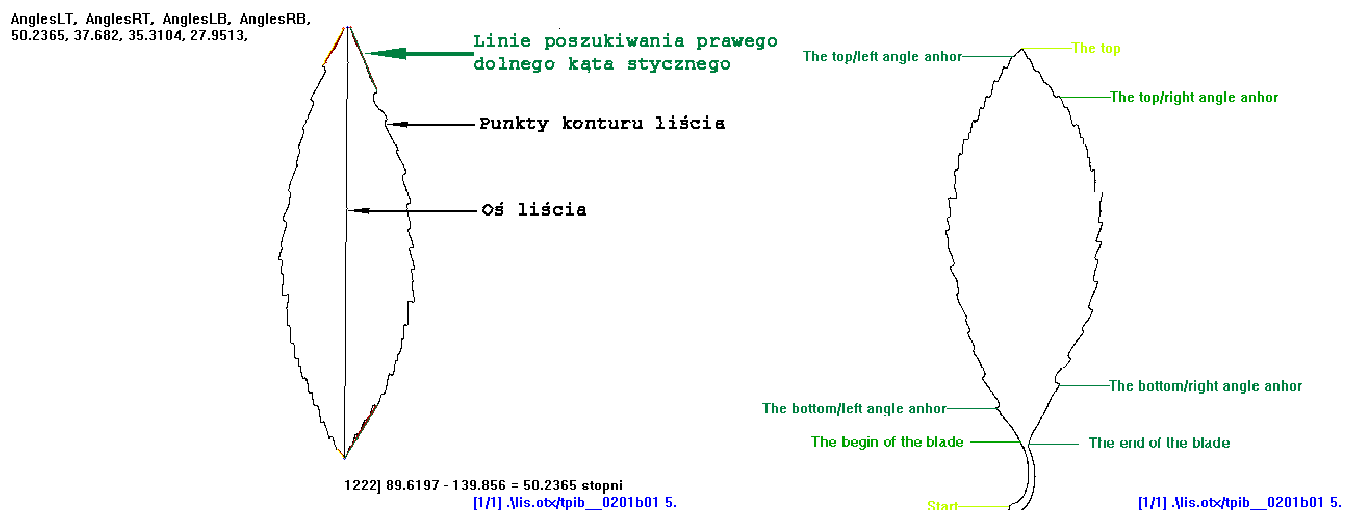


Ryc. 11. Wizualizacja procedury pomiaru liniowego i odnalezionych punktów charakterystycznych (markerów) dla liścia i długopędu tarniny. Poszczególne litery związane z grubymi strzałkami wskazują: a – punkty konturu blaszki liściowej, b – rosnące od nasady blaszki odległości od prostej osi blaszki do jej prawego boku, c – łamaną oś blaszki, prawie całkowicie w tym wypadku pokrywającą oś prostą (patrz opis powyżej), d – rosnące od nasady blaszki odległości od prostej osi blaszki do jej lewej krawędzi, e – rosnące od szczytu blaszki odcinki, których środki wyznaczają oś łamaną, a najdłuższy wyznacza najszerszy punkt blaszki, f – minimum funkcji ilorazu sum odległości służącej do wyznaczenia jednego z hipotetycznych szczytów blaszki, g – maksimum funkcji odległości od nasady blaszki służącej do wyznaczenia jednego z hipotetycznych szczytów blaszki, h – widoczną, w tym wypadku prostą oś obiektu (błędna ponieważ obiektem jest wygięty długopęd). Podpisy angielskie po prawej stronie są nazwami markerów nadawanymi automatycznie przez program.

3.1.3.1.2.3. Nasadowe i szczytowe kąty styczne

W wielu pracach biometrycznych stosuje się cechy będące kątami między wyróżnionymi osiami wyznaczonymi przez różne elementy obiektu. Program używany w tej pracy potrafi wyznaczyć cztery podstawowe kąty blaszki liściowej utworzone pomiędzy ustaloną wcześniej osią blaszki, a liniami stycznymi do blaszki wychodzącymi z punktu odcięcia blaszki i punktu szczytowego blaszki.

Algorytm poszukiwania kąta stycznego jest dosyć prosty. Tak jak w poprzednich wypadkach odtwarzany jest z zapisu wektorowego uporządkowany zbiór punktów. Następnie, w celu zmierzenia każdego z czterech kątów stycznych, szukany jest największy kąt ze zbioru wszystkich kątów utworzonych pomiędzy osią blaszki, a prostymi wyznaczonymi przez zadany punkt początkowy (np. szczyt blaszki) i każdy z punktów jednej z połówek blaszki (Ryc. 12).



Ryc. 12. Wizualizacja procedury pomiaru kątów stycznych. Gruba strzałka wskazuje przykładowe odcinki o rosnącym kącie służące do wyznaczenia prawego dolnego kąta stycznego (Prawy kontur liścia jest odwrócony o 180°). Podpisy angielskie po prawej stronie są nazwami markerów nadawanymi automatycznie przez program.

Tak prosty algorytm jest w pełni skuteczny dla liści pozbawionych struktury brzegu, ale może zawodzić jeśli blaszka liściowa posiada struktury brzegowe w rodzaju ząbków czy karbów. Struktury takie rozmieszczone zwykle mało regularnie i niezbyt powtarzalnie nawet na liściach pochodzących z tego samego okazu rośliny mogą znacząco zaburzać powyższy pomiar kątów stycznych. W przypadku liści tarniny szczególnie kąty szczytowe często bywają mierzone błędnie. Np. na rysunku (Ryc. 12) lewy górny kąt jest zawyżony, ponieważ opiera się na bardziej wystającym szczycie

zábka. Dobrym rozwiązaniem może być wcześniejsze odnalezienie struktur brzegowych metodą gramatyk obrazu, a następnie zignorowanie ich przy pomiarze kąta. W omawianej pracy nie zastosowano jednak takiej metody ze względu na problemy z implementacją wystarczająco odpornego na zakłócenia algorytmu odnajdywania struktur brzegowych.

3.1.3.1.2.4. Powierzchnia blaszki

Obliczanie powierzchni blaszki liściowej zastosowane w omawianym programie (i pracy zarazem) opiera się na klasycznym algorytmie „wypełniania wielokątów” powszechnie implementowanym na potrzeby rastrowej grafiki komputerowej (np. JANKOWSKI 1990)

W zastosowaniach graficznych algorytm służy do rysowania wypełnionego wielokąta na obiekcie rastrowym (ekranie, bitmapie) o zadanej gęstości rastra. W zastosowaniu do mierzenia powierzchni, algorytm zlicza punkty wirtualnego rastra znajdujące się wewnątrz wielokąta jaki utworzyłby liść narysowany na tym rastrze. Przypomina to wciąż jeszcze stosowany sposób liczenia powierzchni liści przez odrysowywanie ich konturu na papierze milimetrowym i „ręczne” zliczanie milimetrów kwadratowych, tyle, że komputer wykonuje tę czynność znacznie szybciej, a ponadto można mu zadać rozmiar punktu rastra inny niż 1 mm^2 . W szczególności, rozmiar ten może być znacznie mniejszy, co pozwala na zwiększenie dokładności obliczeń.

3.1.3.2. Obliczanie cech fraktalnych

Istnieje kilka definicji wymiaru fraktalnego, które mogłyby być odpowiednie jako miernik złożoności liścia: wymiar samo-podobieństwa, wymiar cyrklowy, wymiar pudełkowy oraz wymiar korelacyjny, czy zbliżony do niego wymiar masowy (PEITGEN 1988; EDGAR 1990).

Obliczanie wymiaru samo-podobieństwa jest w praktyce nie do zastosowania w odniesieniu do obiektów realnych, choć sprawdza się świetnie dla fraktali zdefiniowanych matematycznie. Poza tym większość liści nie jest samopodobna w rozumieniu geometrii fraktalnej - za samopodobny można uznać (w pewnym zakresie) liść paproci albo trybuli (*Antriscus*), ale już nie klonu (*Acer*).

Wymiar pudełkowy jest łatwy do zaimplementowania, ale odpowiedni algorytm jest kosztowny obliczeniowo ponieważ pracuje na danych rastrowych (tym lepiej im większa rozdzielczość rastra). Nie został więc użyty ze względów praktycznych – zastosowana w pracy procedura obróbki danych nastawiona jest na pliki w formacie wektorowym, do którego ta metoda obliczania wymiaru fraktalnego nie daje się (bezpośrednio) zastosować.

W programie zaimplementowano natomiast trzy inne metody:

- klasyczny wymiar cyrkłowy,
- wymiar korelacyjny,
- wymiar masowy.

Ponieważ wymiar korelacyjny i masowy dają w praktyce bardzo podobne lub nawet te same rezultaty, we wszystkich analizach w tej pracy obok wymiaru cyrkłowego zastosowano wymiar korelacyjny. Zastosowane algorytmy liczenia przedstawiają się następująco:

A) Wymiar cyrkłowy (**D_s**) jest zdefiniowany następująco:

$$(3) \quad D_s = 1/d$$

gdzie „**d**” jest współczynnikiem obliczonym z długości brzegu figury w poniższy sposób:

1. Obwód figury **u** mierzony jest za pomocą różnych promieni (rozstawień cyrkła) **s**. Możliwy zakres **s** jest ograniczony od dołu dokładnością z jaką jest reprezentowany kontur liścia, od góry zaś rozmiarem liścia.
2. Pary wartości **log(s)**, **log(u)** są traktowane jako współrzędne punktów, dla których obliczamy regresję liniową metodą najmniejszych kwadratów. Uzyskujemy:

$$(4) \quad \log u = d \log 1/s + b$$

gdzie **d**, czyli współczynnik kierunkowy uzyskanej prostej jest właśnie szukany **d**.

B) Wymiar korelacyjny jest zwykle definiowany jako współczynnik nachylenia prostej regresji uzyskanej z wykresu logarytmu odległości między punktami jakiegoś zbioru oraz logarytmu liczby takich samych odległości w tym zbiorze. Można go też

uzyskać w przedstawiony poniżej sposób alternatywny (analogiczny do wymiaru masowego) zasugerowany przez dr Katarzynę Winkowską-Nowak (INF. UST.):

1. Dla każdego punktu i obrysu figury zbudowanej z n punktów (wierzchołków wektorów zapisu) zliczane są punkty sąsiednie mieszczące się w kole o środku w punkcie badanym i zadanym promieniu s . (oznaczane jako m_i). Najmniejsze s wynika z dokładności reprezentacji konturu, największe sensowne zaś to takie, w którym dla każdego testowanego punktu w jego sąsiedztwie znajdują się wszystkie pozostałe punkty konturu.
2. Dla danego s obliczana jest wartość korelacji sąsiedztwa k dla całego konturu za pomocą wzoru:

$$(5) \quad k = \sum_i m_i / n^2$$

gdzie n jest całkowitą liczbą punktów konturu.

3. Operacja taka wykonywana jest dla kolejnych wartości s .
4. Pary wartości $\log(s)$, $\log(k)$ stanowią następnie współrzędne punktów, do których stosujemy regresję liniową metodą najmniejszych kwadratów. Uzyskujemy

$$(6) \quad \log k = d \log s + b$$

gdzie d - współczynnik kierunkowy prostej jest właśnie szukanym wymiarem korelacyjnym.

Jak opisano w metodycznej pracy na temat cech fraktalnych liści (BORKOWSKI 1999) liczenie dla liścia jedynie pojedynczego wymiaru fraktalnego powodowałoby stratę znacznej ilości informacji, którą można by tą drogą uzyskać. W przeciwieństwie do idealnych tworów matematycznych jakimi są fraktale, dla realnych liści poszczególne punkty wykresu \log - \log mające służyć do wyznaczenia wymiaru fraktalnego nie układają się wzdłuż pojedynczej prostej, ale raczej na krzywej, której nachylenie zmienia się mniej lub bardziej zależnie od skali. Jest to zrozumiałe zważywszy, że struktura liści rzadko jest faktycznie „fraktalna”, natomiast wiele liści ma strukturę „wielopoziomową”, czego przykładem mogą być liście jarzębiny czy kasztanowca - złożone, a zarazem ząbkowane. Nawet dla liści tylko ząbkowanych jak np. tarnina czy karbowanych jak pokrzywa pewne zakresy skal, lepiej dobrane do rozmiaru struktur krawędzi, dają większą wartość wymiaru fraktalnego niż inne.

Drugi problem stanowią różnice w rozmiarze liści. Z uwagi na łatwiejszą interpretację i porównywalność wyników, zakres skal przyjęty opisywanej metodzie jest bezwzględny tj. wyrażony w realnych jednostkach długości. (Alternatywnie jednostki

skali mogłyby stanowić pod-wielokrotności całkowitego rozmiaru liścia). W sytuacji kiedy niektóre liście mogą być mniejsze niż największe możliwe skale dla całego zbioru danych, wartości pojedynczego wymiaru fraktalnego byłyby liczone dla różnych zakresów skal dla każdego liścia, lub z niektórych liści trzeba by w ogóle zrezygnować.

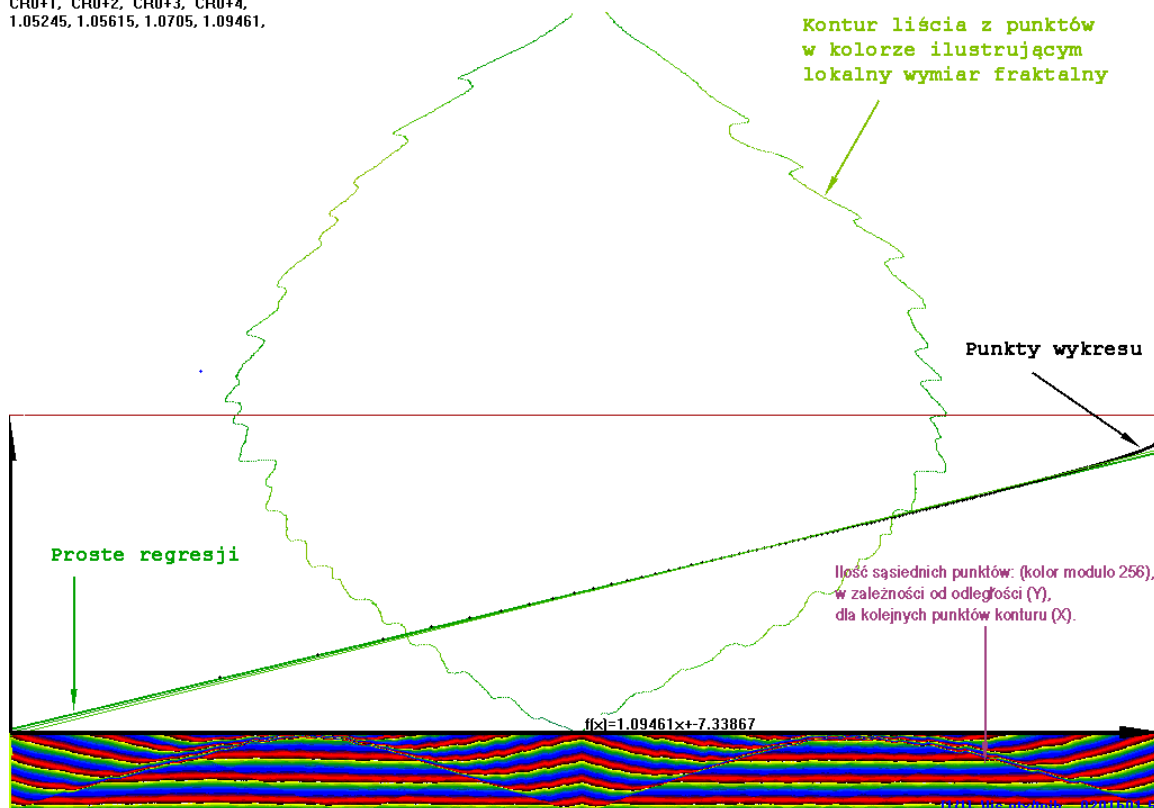
Rozwiązaniem pozwalającym ominąć powyższe problemy jest rezygnacja z pojedynczych wartości wymiaru fraktalnego na rzecz ich zbioru liczonego dla różnych zakresów skal. Wbrew pozorom nie utrudnia to znacząco interpretacji, a z pewnością wzbogaca dane, szczególnie że i tak stanowią one wejście dla różnorodnych metod analizy wielozmiennowej (*multivariate methods*) gdzie większa liczba potencjalnie zróżnicowanych wartości jest bardziej użyteczna od pojedynczej. Możliwa niepewność interpretacji wynika stąd, że trudno ustalić, która z liczb tego zbioru jest właściwą miarą złożoności. Można jednak łatwo zrezygnować z takiego wymogu i mówić o „złożoności struktur o zakresie rozmiarów od X do Y”⁴⁰.

Kolejny problem to sam dobór właściwych zakresów dla których wykonujemy regresję liniową i wyliczamy konkretne wartości wymiaru. Możliwe są dwa skrajne podejścia – zakresy nie zazębiające się - zatem proste, których odcinki utworzą linię łamaną aproksymującą krzywą utworzoną przez punkty wykresu log-log lub zakresy mające wspólny początek, ale różne końce - a zatem zbiór prostych określonych przez coraz obszerniejsze podzbiory punktów wykresu zazwyczaj o zbliżonych, ale nie identycznych kierunkach (można też wyobrazić sobie różne podejścia mieszane). Ponadto istotny jest dobór bezwzględnego zakresu skal, tak by objął on całe konieczne i tylko konieczne zróżnicowanie rozmiarów liści. Problem stanowią małe liście, ponieważ łatwo mogą być mniejsze niż graniczne wartości skal sensownych dla liści większych i nie można dla nich wyliczyć części cech fraktalnych. W dalszej analizie takie cechy mniejszych liści są traktowane jako brakujące wartości (*missing values*), ale jeśli dobrany zakres skal jest zbyt szeroki ich liczba może być za duża dla uzyskania sensownych wyników.

⁴⁰ Warto zauważyć, że nieuzasadnione byłoby też wyliczenie dla nich średniej z wymiarów dla poszczególnych zakresów, ponieważ usuwałoby potencjalnie istotną informację, a co więcej lokowało by liście o wyraźnie różnych wartościach dla poszczególnych poziomów złożoności wśród zupełnie do nich niepodobnych liści "jednopoziomowych" o przypadkowo zbliżonej średniej.

Ostatecznie w omawianych badaniach zastosowane zostało takie samo rozwiązanie jak w poprzedzającej pracy metodycznej (BORKOWSKI 1999).

CR0+1, CR0+2, CR0+3, CR0+4,
1.05245, 1.05615, 1.0705, 1.09461,



Ryc. 13. Wizualizacja procedury szukania cech wymiaru korelacyjnego dla zakresów do 9 mm, wykonane przez program dla przykładowego liścia tarniny. Pomiędzy osiami układu współrzędnych widoczne cztery niemal pokrywające się proste regresji (zielone). Powyżej osi rzędnych kontur liścia składający się z punktów w kolorze ilustrującym lokalny wymiar fraktalny. Poniżej osi wykres ilości sąsiednich punktów (kolor modulo 256), w zależności od promienia (oś odciętych), dla kolejnych punktów konturu (oś rzędnych).

Przyjęto zakresy o wspólnym początku, a każdą definicję i algorytm liczenia wymiaru fraktalnego zastosowano do dwóch odmiennych zakresów skal: Pierwszy zakres rozpoczynał się minimalnym rozmiarem wektora z jakim zakodowane były liście (bliskim 0.025 mm), a jego górnym ograniczeniem był promień s równy ok. 10mm, przy czym krok zmiany skali był równy tej minimalnej wartości, a poszczególne regresje liniowe wykonywane były co około ćwierć centymetra. Po uwzględnieniu faktycznej długości wektorów (większej od minimalnej) regresje były przeprowadzane dla zakresów 0.025-2.0, 0.025-4.5, 0.025-6.50 i 0.025-9.0 mm (Ryc. 13). Początek drugiego zbioru zakresów był taki sam jak pierwszego, ale krok zmiany skali przyjęto czterokrotnie większy. Wartościami końcowymi, dla których wykonywano poszczególne regresje, były

odpowiednio 10, 20, 30 i 40 mm (z dokładnością do 0.5 mm tak jak poprzednio). Taki układ zakresów pozwala uwzględnić w analizie nie tylko drobną strukturę brzegu liści tarniny, ale też odnieść ją do stosunkowo dużych struktur liści innych gatunków śliw.

3.1.3.3. Obliczanie niezmienników momentów

Metoda ta, podobnie jak opisywana w następnym rozdziale, pochodzi ze stosunkowo wczesnych badań nad rozpoznawaniem obrazu w zastosowaniach militarnych. Była stosowana do automatycznego rozpoznawania sylwetek samolotów i okrętów, ale dość dawno zaadaptowano ją w biometrii. Jej idea wywodzi się z klasycznej statystyki i polega na opisywaniu specyfiki rozkładu punktów konturu na płaszczyźnie.

Przytoczony poniżej algorytm zaimplementowany w programie SCANDIX został zaczerpnięty właśnie z jednej z prac o zastosowaniu militarnym (DUDANI I IN. 1977), ale z modyfikacjami polegającymi na pominięciu używanych tam normalizacji kąta ekspozycji (*elevation angle*) i rozmiaru obiektu. Dla skanowanych liści kąt ekspozycji jest zawsze stały, jako że muszą zostać rozplaszczane, a ponadto żadna z pozostałych metod nie uwzględnia możliwości rotacji obiektu w trzecim wymiarze. Normalizacja wielkości z przyczyn technicznych jest w programie przeprowadzana bezpośrednio na zbiorze punktów, podczas odtwarzania go z zapisu wektorowego, a zatem jeszcze przed przystąpieniem do realizacji właściwego algorytmu.

Ogólnie momenty centralne figury można zdefiniować następująco:

$$(7) \quad \mathbf{M}_{pq} = 1/N \left[\sum_i (\mathbf{x}_i - \mathbf{m}_x)^p (\mathbf{y}_i - \mathbf{m}_y)^q \right] \quad \text{gdzie:}$$

\mathbf{N} - liczba punktów konturu,

i - kolejny punkt konturu

\mathbf{x}_i - współrzędna X kolejnego punktu

\mathbf{y}_i - współrzędna Y kolejnego punktu

$\mathbf{m}_x, \mathbf{m}_y$ - współrzędne środka ciężkości figury

p, q - wykładniki momentów przybierające wartości całkowite od 0 do 3, co ostatecznie daje 16 momentów. Z momentów tych można następnie zdefiniować szereg funkcji. Niektóre z nich, przedstawione poniżej, mają szczególnie pożądaną właściwość

niezmienniczości względem rotacji i odbicia konturu oraz kombinacji tych przekształceń (w przypadku I_7 z dokładnością do znaku):

$$(8) \quad I_1 = M_{20} + M_{02}$$

$$(9) \quad I_2 = (M_{20} - M_{02})^2 + 4 * M_{11}^2$$

$$(10) \quad I_3 = (M_{30} - 3 * M_{12})^2 + (3 * M_{21} - M_{03})^2$$

$$(11) \quad I_4 = (M_{30} + M_{12})^2 + (M_{21} + M_{03})^2$$

$$(12) \quad I_5 = (M_{30} - 3 * M_{12}) * (M_{30} + M_{12}) \\ * ((M_{30} + M_{12})^2 - 3 * (M_{21} + M_{03})^2) \\ + (3 * M_{21} - M_{03}) * (M_{21} + M_{03}) \\ * (3 * (M_{30} + M_{12})^2 - (M_{21} + M_{03})^2)$$

$$(13) \quad I_6 = (M_{20} - M_{02}) * ((M_{30} + M_{12})^2 - (M_{21} + M_{03})^2) \\ + 4 * M_{11} * (M_{30} + M_{12}) * (M_{21} + M_{03})$$

$$(14) \quad I_7 = (3 * M_{21} - M_{03}) * (M_{30} + M_{12}) \\ * ((M_{30} + M_{12})^2 - 3 * (M_{21} + M_{03})^2) \\ - (M_{30} - 3 * M_{12}) * (M_{21} + M_{03}) \\ * (3 * (M_{30} + M_{12})^2 - (M_{21} + M_{03})^2)$$

Wartości powyższych funkcji mogą być następnie traktowane jako cechy biometryczne danego konturu. Co prawda ich interpretacja botaniczna jest w zasadzie niemożliwa (por. MORACZEWSKI 1998), ale jako cechy służące automatycznemu rozpoznawaniu liści mogą być bardzo użyteczne.

3.1.3.4. Obliczanie Eliptycznych Współczynników Fouriera

Współczynniki Fouriera w różnych wariantach były z sukcesem używane przez wielu badaczy do opisu kształtu zamkniętych konturów o pochodzeniu zarówno technicznym jak i biologicznym (KINCAID, SCHNEIDER 1983; LEASTREL (red) 1997). W przypadku liści najodpowiedniejsze wydają się tzw. „eliptyczne współczynniki Fouriera” (*elliptic Fourier coefficients*), których implementację w programie SCANDIX przyjęto wg KUHL’A (1982) oraz ROHLF’A i ARCHIE (1984).

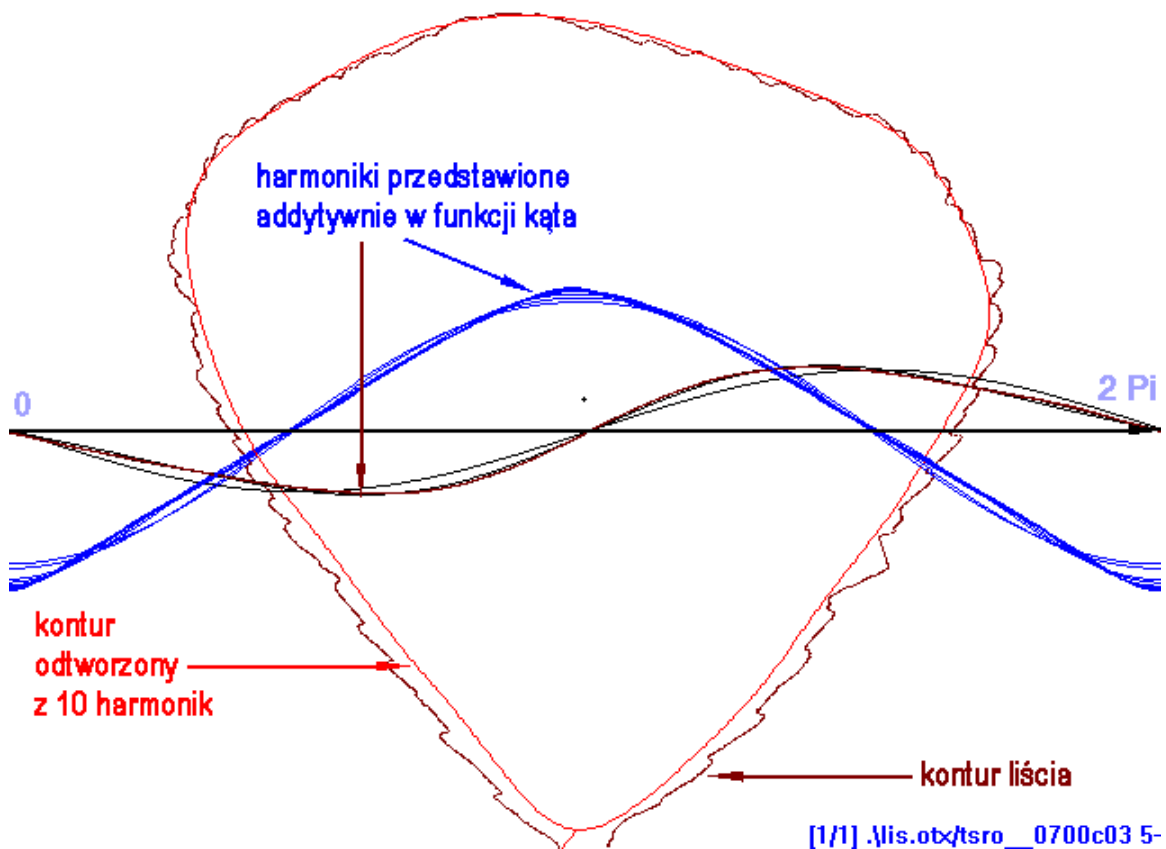
Szczegółowy opis jest bardzo obszerny i można znaleźć go w powyższych pracach, w uproszczeniu zaś metoda ta opiera się na aproksymacji zamkniętego konturu, którego środek ciężkości przyjmowany jest za środek układu współrzędnych, za pomocą złożenia (dodawania) szeregu elips. Pojedyncza elipsa konstruowana jest za pomocą równania:

$$(15) \quad X_{(\alpha)} = A \cdot \cos(n \cdot \alpha) + B \cdot \sin(n \cdot \alpha)$$

$$(16) \quad Y_{(\alpha)} = C \cdot \cos(n \cdot \alpha) + D \cdot \sin(n \cdot \alpha)$$

Gdzie n jest kolejnym numerem harmoniki Fouriera użytej do aproksymacji współczynników A , B , C , D danej elipsy, a α kątem wodzącym przyjmującym wartości od 0 do 2π . Harmoniki te, sumowane oddzielnie dają złożone funkcje trygonometryczne natomiast składane razem (zgodnie z powyższym równaniem) pozwalają zdefiniować złożone krzywe dwuwymiarowe. Wynikowa aproksymacja kształtu tworzona jest przez sumowanie obliczonych dla każdego α wartości X_{α} i Y_{α} dla poszczególnych wartości n . Każdy ze współczynników A_n , B_n , C_n , D_n może być użyty jako osobna cecha konturu w analizie wielozmiennowej. Optymalna liczba współczynników zależy od złożoności i zmienności kształtów badanych obiektów. Wzrost liczby harmonik pozwala dokładniej opisać kontur, jednak współczynniki dla dużych n są znacznie bardziej wrażliwe na przypadkowe zaburzenia kształtu w rodzaju zagięcia lub oderwania części ząbków, asymetrii spowodowanej niesprzyjającymi warunkami podczas wzrostu itp. Zastosowanie w omawianej pracy wartość n równa 10 (dająca 40 osobnych cech fourierowskich)

dawało szansę na opisanie ogólnego kształtu liści tarniny z pominięciem ich złożonej struktury krawędzi, co widać na poniższej ilustracji.



Ryc. 14. Wizualizacja procedury wyznaczania eliptycznych współczynników Fouriera. Widoczny rzeczywisty kontur liścia (zdeformowany przez zastosowany układ współrzędnych), kontur odtworzony z 10 harmonik, oraz harmoniki przedstawione addytywnie (1-sza, 1-sza+2-ga, 1-sza+2-ga+3-cia itd.) jako funkcje kąta (czarna oś).

3.1.3.5. Obliczanie liczby ząbków metodą „gramatyki kształtów”.

Gramatyki kształtu Jakubowskiego jako metodę analizy krawędzi blaszki liściowej zaadaptował dla morfometrii I. R. MORACZEWSKI (1998).

W stosowanym programie zastosowano nieco okrojoną wersję algorytmu podanego w powyższej pracy. Miał on posłużyć do zliczania liczby ząbków na krawędzi liści tarniny i pokrewnych gatunków. Z teoretycznie możliwych i użytecznych statystyk rozmiaru ząbków ostatecznie nie udało się w pełni skorzystać ze względu na problemy techniczne w implementacji algorytmu działającego wystarczająco skutecznie. Przy tak

dokładnych opisach wektorowych liści jakie były tu stosowane drobne, nieistotne szczegóły krawędzi uniemożliwiały bardzo często wykrycie prawdziwych ząbków liścia.

3.2. Zastosowane metody analizy danych

Całość analizy wyników omawianej pracy została wykonana za pomocą różnorodnych metod eksploracyjnej analizy danych oraz analizy statystycznej. Znaczna część wyników, ze względu na cząstkowy charakter, lub zgodność z innymi, zamieszczonymi wynikami, nie znalazła się ostatecznie w tekście pracy. W poniższym tekście znalazły się tylko odniesienia metod, które zostały wymienione bezpośrednio w opisie wyników (patrz „4. WYNIKI I DYSKUSJA”).

Były to trzy grupy metod:

- Klasyczne metody wielowymiarowej analizy statystycznej (BLALOCK 1974; MORRISON 1990), których użyto poprzez dostępne programy analizy danych: STATISTICA (STATSOFT 1996), oraz TAXAL (BATKO, MORACZEWSKI 1993).
- Metody, które autor pracy musiał reimplementować na podstawie materiałów podręcznikowych (BLALOCK 1974; LUSZNIWICZ 1987). Powodem ponownej implementacji była albo szybkość działania, albo konieczność obróbki plików danych zbyt dużych dla gotowych pakietów, lub konieczność automatyzacji wieloetapowych obliczeń.
- Trzy metody mniej lub bardziej oryginalne, częściowo wymyślone przez autora tej pracy - program DETECT (BORKOWSKI 1999) lub w których tworzeniu autor miał swój udział - program CLAGEN (MORACZEWSKI I IN. 1995).

Ponieważ opis wszystkich metod zastosowanych w analizie byłby bardzo obszerny, a ponadto w ogromnej większości łatwo dostępny jest w innych źródłach (np. SNEATH, SOKAL 1973; BLALOCK 1974; LUSZNIWICZ 1987; MORRISON 1990; STATSOFT 1996; HAIR I IN. 1998), dalej przedstawiono szczegółowo jedynie metody z ostatniej z wymienionych w poprzednim akapicie grup, dla pozostałych ograniczając się do wymienienia i podania referencji.

3.2.1. Elementarna statystyka opisowa

- średnia i odchylenie standardowe, odchylenie średnie, oraz
- minimum, maksimum, dominanta, mediana i inne kwartyle: używano wielokrotnie w różnych konfiguracjach, zarówno poprzez pakiet STATISTICA jak i we własnych implementacjach autora.
- test Shapiro-Wilka na normalność rozkładu: użyto z pakietu STATISTICA.

- korelacja Pearsona (dla zmiennych o skalach interwałowych), oraz
- nieparametryczna korelacja Tau Kendall'a (dla zmiennych o skalach nominalnych i porządkowych): używano własne programy autora jak i pakiet STATISTICA.

3.2.2. Zawansowane metody statystyki parametrycznej

- analiza czynnikowa (*Principal Component Analysis*), oraz
- wariancyjna analiza dyskryminacyjna były wykonywane za pomocą pakietu STATISTICA.

3.2.3. Wykresy i zestawienia

- Zestawienia tabelaryczne i doraźne obliczenia w tabelach wykonywano za pomocą programu MS Excell, a niekiedy pakietu STATISTIKA.
- wykresy liniowe,
- wykresy rozrzutu (*scatter-plots*),
- histogramy (2 wymiarowe), oraz
- histogramy (3 wymiarowe), wykonywano za pomocą pakietu STATISTIKA, a w jednym wypadku za pomocą programu MS Excell.
- profile kształtów⁴¹ JENTYS-SZAFEROWEJ (1959), wykonywano trój etapowo: za pomocą własnego programu autora obliczano wartości średnie w zadanych klasach, następnie za pomocą arkusza kalkulacyjnego Excell wykonywano odpowiednie obliczenia (dzielenie każdej cechy każdej klasy przez średnią odniesienia dla cechy - zazwyczaj średnią dla szerszej próby) i wstępne wykresy, wreszcie po przeniesieniu danych z arkusza wykonywano ostateczne wykresy liniowe za pomocą pakietu STATISTICA.

3.2.4. Klasyczne metody eksploracyjnej analizy danych i analizy skupień

3.2.4.1. Miary odległości

- odległość korelacyjna „1-r”, była wyliczana za pomocą pakietu STATISTIKA. Jest to metoda wyliczania odległości między zmiennymi opisującymi zbiór danych. Prosta transformacja - odjęcie wartości korelacji Pearsona (r) od

jedności daje wartość z zakresu $\langle 0, 2 \rangle$, co pozwala badać zmienne na równi z obiektami metodami taksonomii numerycznej⁴².

- odległość Euklidesa, odległość miejska oraz
- normalizowana odległość miejska, były wyliczane za pomocą programu autora (DETECT). O ile dwie pierwsze miary odległości między obiektami zbioru danych są stosowane powszechnie i nie wymagają raczej wyjaśnień, o tyle normalizowana odległość miejska jako nieco rzadziej spotykana wymaga choć skrótowego opisu:

Odległość ta jest sposobem pozwalającym na poradzenie sobie z danymi zawierającymi brakujące wartości (*missing values*). Między obiektami mającymi choć jedną z cech o wartości zdefiniowanej dla jednego, a nie zdefiniowanej dla drugiego, odległość Euklidesa i odległość miejska nie mogą być wyliczone. Pociąga to za sobą konieczność rezygnacji albo z niektórych cech, albo z niektórych obiektów, co w zbiorze danych mającym duże braki może być bardzo kłopotliwe. Natomiast Normalizowana Odległości Miejska pozwala na obliczenie kompletnej macierzy odległości między obiektami. Wyliczana jest ona dla danych znormalizowanych do zakresu $\langle 0,1 \rangle$ w następujący sposób:

$$(17) \quad D_{NM}(\mathbf{AB}) = \left(\sum_i |v_{iA} - v_{iB}| \right) / n, \text{ gdzie:}$$

$D_{NM}(\mathbf{AB})$ - normalizowana odległość Manhattan między obiektem **A**, a obiektem **B**,

i - indeks cech przebiegający wszystkie cechy zdefiniowane zarówno dla obiektu **A** jak i obiektu **B**,

v_{iA} - wartość i -tej cechy dla obiektu **A**,

v_{iB} - wartość i -tej cechy dla obiektu **B**,

n - liczba cech zdefiniowanych zarówno dla obiektu **A** jak i obiektu **B**.

⁴¹ Jest to jedna z podstawowych metod wizualizacji danych stosowana w pracach biometrów polskich, a niekiedy i za granicą.

⁴² Alternatywna metoda wyliczenia odległości na podstawie korelacji to wzór $1-|r|$. Pomija ona znak korelacji i bierze pod uwagę jedynie siłę związku, a uzyskana metryka jest w zakresie $\langle 0,1 \rangle$.

Uzyskujemy w ten sposób metrykę porównywalną pomiędzy przestrzeniami o różnej liczbie wymiarów, a więc pomiędzy obiektami różniących się od siebie liczbą cech, dla których wartości są zdefiniowane (MORACZEWSKI, INF. UST.⁴³).

3.2.4.2. Metody analizy skupień i relacji między obiektami.

- skalowanie wielowymiarowe (patrz HAIR I IN. 1998) wykonywano za pomocą pakietu STATISTICA.
- dendryt (*minimum spanning tree*) użyto do zobrazowania związków między zmiennymi i wykonano za pomocą pakietu TAXAL do danych (odległości korelacyjnych) wyliczonych za pomocą pakietu STATISTICA.

grupowanie hierarchiczne (*hierarchical clustering*) metodą Warda wizualizowane za pomocą dendrogramów wykonywano za pomocą pakietu TAXAL, oraz za pomocą pakietu STATISTICA.

3.2.5. Niestandardowe metody eksploracyjnej analizy danych

3.2.5.1. Klasyfikacja niehierarchiczna algorytmem genetycznym i uzgodniona klasyfikacja niehierarchiczna.

Hierarchiczne metody grupowania mają liczne wady. Najważniejsze z nich to duża zależność wyników od użytej pary **odległość - metoda grupowania**⁴⁴ i narzucanie hierarchicznej interpretacji grup nawet jeśli nie jest to uzasadnione. Alternatywą dla nich są metody grupowania niehierarchicznego, z których najbardziej poszukiwane są takie, które nie narzucają z góry liczby grup.

Skuteczne rozwiązanie problemu niehierarchicznego grupowania wymaga metod optymalizacyjnych, np. algorytmu genetycznego, co zostało zaproponowane przez MORACZEWSKIEGO I IN. w pracy z 1995 r.

Wyjaśnienie tej metody jest istotne dla zrozumienia opisu wyników pracy, a jednocześnie pełny opis był już publikowany uprzednio, stąd zdecydowano dołączyć obszerny opis w postaci dodatku (Dodatek B - program CLAGEN.).

⁴³ Technika jest na tyle prosta, oczywista i szeroko stosowana, że podobnie jak dla niektórych innych odległości trudno podać pierwotne źródło.

⁴⁴ Nie mówiąc już o zależności od kolejności obiektów w danych wejściowych!

Ponieważ metoda opiera się na niedeterministycznym (probabilistycznym) algorytmie, uzyskiwane suboptymalne klasyfikacje mogą być różne w poszczególnych przebiegach programu dla tych samych danych. Stąd dla zwiększenia wiarygodności dla każdego zbioru danych wskazane jest wykonywanie pewnej liczby niezależnych przebiegów (np. 100) i sprawdzanie powtarzalności wyników. Pozwala to przynajmniej oszacować stopień „klasyfikowalności” zbioru obiektów, a jako wynik wybrać klasyfikację najlepszą lub najczęściej się powtarzającą (dla „dobrych” danych jest to ta sama klasyfikacja). Ponadto, dla mniejszych danych, możliwe było wykonanie prób dla alternatywnych funkcji jakości, porównanie uzyskanych wyników i ewentualne ręczne już wygenerowanie klasyfikacji „consensus”, w której określone były obiekty wątpliwe - różnie klasyfikowane przez różne funkcje.

Wymieniona w tym rozdziale metoda została użyta zarówno do szukania regularności w zbiorach zmiennych pomiarowych (np. cechy liści) i wyjaśniających (cechy stanowisk), jak i w zbiorach obiektów. Ponadto uzyskane za jej pomocą partycjonowania stanowiły ułatwienie w różnych zestawieniach tabelarycznych⁴⁵ i wizualizacjach pozwalając poprzez umieszczenie obok siebie i odpowiednie kolorowanie obiektów podobnych lepiej unaocznic występujące regularności, korelacje lub grupy na wykresach uzyskiwanych za pomocą skalowania wielowymiarowego.

3.2.5.2. Testowanie klasyfikacji z użyciem metody najbliższego sąsiada albo walidacja krzyżowa metodą najbliższego sąsiada.

W analizie złożonych danych często mamy do czynienia z pytaniem w jakim stopniu pewien zbiór zmiennych pozwala odtworzyć pewną, zadaną *a priori* klasyfikację zbioru przypadków (obiektów), albo jaki podzbiór zadanego zbioru zmiennych robi to najlepiej. Na pytania takie powalają odpowiedzieć metody działu statystyki zwanego „analizą dyskryminacyjną” (*discriminant analysis*). Niestety metody klasycznej analizy dyskryminacyjnej mają swoje źródło w statystyce parametrycznej, a w szczególności w analizie wariancji i kowariancji. Pociąga to za sobą liczne założenia i konieczne warunki nałożone na zbiór danych, które muszą być spełnione żeby analiza dyskryminacyjna była „prawomocna”. Jednym z najbardziej ograniczających jest fakt, że analiza

dyskryminacyjna w zasadzie nie może być przeprowadzana na zbiorach danych zawierających wiele brakujących wartości (*missing values*). Można próbować obejść to ograniczenie zastępując brakujące wartości średnimi danej cechy dla całego zbioru. Choć postępowanie takie ma logiczne uzasadnienie i w istocie jest stosowane np. w pakiecie STATISTIKA, nie ma silnych podstaw matematycznych i w związku z tym spotyka się z krytyką⁴⁶.

W pracach biometrycznych, a już szczególnie w zadaniach automatycznej identyfikacji często spotykamy się z mocno niekompletnymi zbiorami danych, dla których jednak trzeba odpowiedzieć na zadane powyżej pytania o jakość klasyfikacji. Skoro nie można zastosować analizy dyskryminacyjnej, konieczne są rozwiązania alternatywne. Z pomocą przychodzi metoda „walidacji krzyżowej” (*cross-validation*) i odpowiednie dla konkretnego problemu rozwiązania nią inspirowane (EFRON, GONG 1983; HAIR I IN. 1998). Algorytmy takie opierają się zwykle na prostych założeniach matematycznych dzięki czemu mogą być stosowane do bardzo niedoskonałych danych. Ten przedstawiony poniżej został zaimplementowany i zastosowany po raz pierwszy na potrzeby pracy metodycznej dotyczącej cech fraktalnych (BORKOWSKI 1999):

1. Dany jest zbiór m obiektów o znanej *a priori* przynależności do klas określonej zmienną K , a opisanych n cechami: V_1, V_2, \dots, V_n .
2. Dla każdego z obiektów zbioru znajdujemy różny od danego obiekt tego samego zbioru, będący najbliższym sąsiadem pod względem pewnej metryki D .
3. Za jakość odwzorowania klasyfikacji K za pomocą cech V_1, V_2, \dots, V_n przyjmujemy procent obiektów, których najbliższy sąsiad należy do tej samej klasy wg zmiennej K .

Mówiąc inaczej, każdy z obiektów jest raz traktowany jako obiekt badany porównywany z pulą $m-1$ wzorców, a w pozostałych przypadkach jako jeden z wzorców.

⁴⁵ Co jest analogiczne do porządkowania wierszy i kolumn macierzy połączeń między obiektami stosowanego często w fitosocjologii i analizie sieci społecznych w socjologii.

⁴⁶ Autor spotkał się z silnym sprzeciwem recenzentów artykułu w *Canadian Journal of Forest Research* (1999) w którego pierwotnej wersji klasyczna analiza dyskryminacyjna była stosowana znacznie szerzej niż w ostatecznej.

Metryka **D** może być w zasadzie dowolną ze stosowanych w eksploracyjnej analizie danych miarą odległości między obiektami w przestrzeni cech, ale w praktyce stosowano trzy odległości: Odległość Euklidesa, Odległość Miejską i Normalizowaną Odległość Miejską. Odpowiednio do zastosowanej metryki traktowano też wartości brakujące (*missing values*). Między obiektami mającymi choć jedną z cech o wartości zdefiniowanej dla jednego, a nie zdefiniowanej dla drugiego, odległość Euklidesa i odległość miejska przyjmuje się jako ∞ . Natomiast dla normalizowanej odległości miejskiej (patrz „3.2.4.1. Miary odległości”) uzyskujemy metrykę porównywalną pomiędzy przestrzeniami o różnej liczbie wymiarów, a więc pozwalającą znaleźć obiekt najbliższy (najbardziej podobny wzorzec) wśród obiektów różniących się od siebie i od obiektu badanego ilością cech, dla których wartości są zdefiniowane. Stąd w niniejszej pracy stosowano głównie tę właśnie metrykę.

3.2.5.3. Uzyskiwanie optymalnego zestawu cech odzwierciedlających zadaną klasyfikację metodą nieparametrycznej analizy dyskryminacyjnej

Algorytm przedstawiony w poprzednim rozdziale odpowiada na pytanie o jakość klasyfikacji, nie pozwala natomiast ustalić z jakim podzbiorem cech obiektów badanych klasyfikacja ta jest najbardziej zgodna, albo inaczej jaki podzbiór cech pozwala najlepiej odzwierciedlić tę klasyfikację.

Ponieważ każda z cech może być w różnorodny sposób skorelowana z zadaną klasyfikacją oraz z innymi cechami odnalezienie najlepszego ich zestawu jest bardzo skomplikowanym zagadnieniem optymalizacyjnym. Problem należy do klasy tzw. problemów NP-trudnych⁴⁷ (ZIARKO 1991) co oznacza że odnalezienie absolutnie najlepszego (optymalnego) rozwiązania może w najgorszym wypadku wymagać sprawdzenia wszystkich rozwiązań możliwych⁴⁸. W tym wypadku liczba rozwiązań (przestrzeń rozwiązań) rośnie eksponentalnie i wynosi 2^n , gdzie **n** jest liczbą cech, z których każdą można włączyć lub nie do zbioru cech będącego rozwiązaniem. Przy

⁴⁷ *NP-hard, NP-complete; nondeterministic polynomial complete*

⁴⁸ Znalezienie rozwiązania najlepszego nie zawsze musi wymagać przejrzenia wszystkich rozwiązań. Znane są dla wielu zagadnień metody inteligentnego przeszukiwania przestrzeni, wprawdzie nie dowolnie wielkich, które bez oceny każdego pojedynczego rozwiązania dają optimum (np. *branch-and-bound*), a są także techniki suboptymalne mające tą wadę że można z ich użyciem znaleźć nawet najlepsze rozwiązanie, ale nigdy nie ma 100% pewności, że nie można było znaleźć jeszcze lepszego.

realnych danych już dla n będących niedużymi liczbami całkowitymi sprawdzenie wszystkich rozwiązań wymagałoby bardzo długiego czasu obliczeń. Np. dla $n=5$ rozwiązań jest 32, dla $n=10$ jest ich „tylko” 1024, ale dla $n=50$ (co jest wartością zbliżoną do liczby cech stosowanych w tej pracy) już 1125899906842624. Przyjmując jedną sekundę na test pojedynczego rozwiązania byłoby to ponad 13031248921 dni czyli około 35 677 615 lat!

Jeśli jednak można zadowolić się rozwiązaniami nieco gorszymi od najlepszego, to istnieją metody optymalizacyjne (niedeterministycznie suboptymalne) pozwalające uporać się z takim problemem. W niniejszej pracy w celu znajdowania (sub)optymalnych zbiorów cech posłużono się stosunkowo prostym schematem optymalizacyjnym tzw. „marszu pod górę” (*hill climbing*), analogicznym do metody wstępującej i zstępującej w analizie dyskryminacyjnej (*forward and backward discriminant analysis*), przy czym jako funkcji jakości (*fitness function*) klasyfikacji używano metody opisanej w rozdziale „3.2.5.2. Testowanie klasyfikacji z użyciem metody najbliższego sąsiada albo walidacja krzyżowa metodą najbliższego sąsiada”.

Szczegółowy algorytm w wersji dołączającej/ wstępującej (*forward*) wygląda następująco:

- Dany jest zbiór m obiektów o znanej *a priori* przynależności do klas określonej zmiennej K , a opisanych n cechami: $V_0, V_1, V_2, \dots, V_{n-1}$.
1. Przyjmuje się, że dla pustego zbioru cech wartość funkcji **fitness** wynosi 0, a początkowa pozycja przeszukiwania zbioru cech (i) równa jest także 0.
 2. Do aktualnego zbioru cech dołączana jest pierwsza z kolei cecha znajdującą się za aktualną pozycją i która jeszcze w nim nie jest.
 3. Oblicza się funkcje jakości (**fitness**) odzwierciedlenia klasyfikacji K przez aktualny zbiór cech V .
 4. Jeśli nowa wartość funkcji **fitness** jest wyższa od wartości poprzedniej cecha pozostaje w aktualnym zbiorze cech, a wartość **fitness** jest zapamiętywana, w przeciwnym wypadku cecha zostaje usunięta.
 5. sprawdza się, czy liczba kolejnych nieudanych prób dołączenia cechy jest większa niż n . Jeśli tak to działanie algorytmu zostaje przerwane a za wynik

przyjmuje się aktualny zbiór cech (zmiennych), w przeciwnym razie nową wartością i staje się $(i+1)$ modulo n i algorytm wraca do punktu 2.

Algorytm w wersji wyłączającej/ zstępującej (*backward*) jest skonstruowany analogicznie:

- Dany jest zbiór m obiektów o znanej *a priori* przynależności do klas określonej zmienną K , a opisanych n cechami: $V_0, V_1, V_2, \dots, V_{n-1}$.
1. Przyjmuje się, że aktualny zbiór cech jest początkowo tożsamy ze zbiorem wszystkich cech i oblicza się dla niego wartość funkcji **fitness**. Początkową pozycją przeszukiwania zbioru cech (i) jest 0.
 2. Z aktualnego zbioru cech wyłącza się pierwszą z kolei, jeszcze nie wyłączoną cechę, znajdującą się za aktualną pozycją przeszukiwania (i).
 3. Oblicza się funkcje jakości odzwierciedlenia klasyfikacji K przez aktualny zbiór cech V .
 4. Jeśli nowa wartość funkcji **fitness** jest wyższa lub równa wartości poprzedniej cecha zostaje na stałe usunięta ze zbioru cech, wartość **fitness** zastępuje poprzednią, a n zostaje zmniejszone o 1, w przeciwnym wypadku pozostawiamy cechę.
 5. sprawdza się, czy liczba kolejnych nieudanych prób usunięcia cechy jest większa niż aktualne n . Jeśli tak to działanie algorytmu zostaje przerwane a za wynik przyjmuje się aktualny zbiór zmiennych, w przeciwnym razie nową wartością i staje się $(i+1)$ modulo n i algorytm wraca do punktu 2.

Powyższe procedury, zaimplementowane w autorskim programie DETECT, realizują to samo zadanie co analogiczne metody analizy dyskryminacyjnej i dają zbliżone wyniki. Ceną za brak założeń co do rozkładów zmiennych i ich wzajemnych zależności oraz proste rozwiązanie problemu wartości niezdefiniowanych (*missing values*) jest co najmniej kilkukrotnie wyższa czasochłonność obliczeń. Wynika to przede wszystkim ze złożoności obliczeniowej samej funkcji jakości. Złożoność ta jest zależna liniowo od liczby cech, a kwadratowo od liczby obiektów, a ponadto funkcja, w

zależności od danych, musi zostać zastosowana od n do n^2 razy w każdym przebiegu algorytmu doboru cech⁴⁹.

Ponieważ zmienne opisujące zbiór bywają skorelowane, a ich kolejność w zbiorze „kandydatów” jest tu ustalona z góry, metoda dołączająca może wprowadzać (i faktycznie dla danych z tej pracy wprowadzała) do wynikowego zbioru cech takie, które nie niosą żadnej informacji dodatkowej w stosunku do cech dołączonych później, ale zostały doń włączone na początku. Stąd każdy zbiór cech uzyskany metodą dołączania powinien być (i faktycznie był w tej pracy) sprawdzany i ewentualnie zredukowany metodą wyłączenia.

⁴⁹ Co prawda ze względu na postępy techniki komputerowej czas pracy jest coraz mniej istotnym wyznacznikiem jakości metody, ale oczywiście nadal jest istotne czy algorytm ma złożoność rzędu N , N^2 czy 2^n ! Dla różnych danych z tej pracy pojedynczy przebieg algorytmu trwał, na komputerze PC z procesorem Pentium 300 lub 400MHz, do kilku, a czasem nawet kilkunastu godzin. Nie pozwoliło to na zastosowanie innych schematów optymalizacyjnych, które potrzebowały by jeszcze więcej czasu (np. algorytmu genetycznego).

4. WYNIKI I DYSKUSJA

4.1. Analiza zmiennych i związków między zmiennymi

Jak już wspomniano (patrz „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne” str. 52) podstawowe zbiory danych opisane były przez kilkadziesiąt zmiennych biometrycznych. Jest to zgodne z jednym z podstawowych paradygmatów eksploracyjnej analizy danych, by na jej wejściu nie przyjmować żadnych zbędnych założeń i starać się uzyskać możliwie wszechstronny opis badanego zbioru obiektów. Tak jednak duża liczba zmiennych utrudnia zarówno techniczną stronę analizy jak i zrozumienie jej wyników, stąd konieczne jest dokładne zbadanie związków między zmiennymi umożliwiające redukcję tej liczby.

Po zestawieniu całości podstawowego zbioru danych okazało się, że dla zmiennych CF4_3, CF4_4 i CR4_4 procent wartości brakujących był tak duży, że uzasadniał rezygnację z nich w dalszych analizach. Dla pozostałych zbadano wzajemne korelacje w oparciu o pełny zbiór danych opisujący liście tarniny.

Cechy Fourierowskie okazały się być znacznie mniej skorelowane z pozostałymi co wraz z ich wyraźną odrębnością metodyczną uzasadniło ich osobne traktowanie w dalszych analizach.

Tab. 5. Uzgodniona klasyfikacja niehierarchiczna ważniejszych zmiennych opisujących materiał *Prunus spinosa* L. uzyskana za pomocą algorytmu genetycznego na podstawie odległości korelacyjnej (1-r). W nawiasach cechy mocniej związane pomiędzy sobą niż z resztą grupy lub słabiej związane z całą grupą. Wyjaśnienie skrótów na wkładce oraz w rozdziale „2.1.1. Miejsca zbioru na terenie Polski”.

BR_L BR_LDW (BR_W)
(PT_W) PT_L BL_L BL_W BL_N BL_P AREA
(ANGLT ANGRT) (BL_NDL M_INVC)
(M_INVF) (CR4_2)
(CR0_1 CF0_1) (CF0_4 CF4_1) CR0_2 CR0_3 CR0_4 CR4_1 CF0_2 CF0_3
ANGLB ANGRB M_INVA (CF4_2 M_INVD)
(M_INVB) BL_LDW BL_PDW

Dla reszty, tj. dla klasycznych cech biometrycznych, cech fraktalnych i niezmienników momentów wykonano analizę skupień opartą na odległości

korelacyjnej (patrz „3.2.4.1. Miary odległości”, str. 85). Zastosowano niehierarchiczne grupowanie (skupianie) za pomocą algorytmu genetycznego (patrz Tab. 5) oraz dendryt (*minimum spanning tree*, Ryc. 15).

Jak należało się spodziewać, analizy te wykazały przede wszystkim ściśle związki pomiędzy niektórymi zmiennymi pozwalające w dalszej pracy na rezygnację z części z nich. Ściśle skorelowane okazały się takie cechy, jak odpowiadające sobie prawe i lewe kąty blaszki liściowej (ANGLB z ANGRB oraz ANGLT z ANGRT), czy niektóre cechy fraktalne dla zbliżonych zakresów skal (np. CF0_1 z CR0_1 i CF0_4 z CF4_1).

Ważny choć nie zaskakujący jest skład poszczególnych grup cech. Odrębną grupę tworzą cechy opisujące pędy (BR_L, BR_LDW, BR_W), które z cechami liści nie są skorelowane więcej niż na poziomie 0.45, a zazwyczaj znacznie niżej. Odrębna jest też grupa cech wielkości dla liści (PT_W, PT_L, BL_L, BL_W, BL_N, BL_P oraz AREA) oraz grupa większości cech fraktalnych (CR0_1 do CF0_3). Natomiast cechy oparte na niezmiennikach momentów (*moment invariants* por. str. 79) są w analizie rozbijane. Trzy są wzajemnie silnie skorelowane (na poziomie od 0.55 do 0.9) - są to niezmienniki momentów E, F, G (M_INVE, M_INVF, M_INVG) i ze względu na zwartość tej grupy w dalej przedstawionych wynikach analiz (Tab. 5) są one w reprezentowane jedynie przez cechę F (M_INVF). Pozostałe niezmienniki momentów (M_INVA, M_INVB, M_INVC, M_INVD) są powiązane z małymi grupami utworzonymi przez cechy kształtu (np. BL_LDW), kąty i pozostałe cechy fraktalne (CF4_2, CR4_2). Ich położenie na dendrycie wydaje się wskazywać, że opisują one zbiorczo własności szczegółowo opisywane przez inne miary. Nie dziwi to, zważywszy statystyczny rodowód tych cech (patrz „3.1.3.3. Obliczanie niezmienników momentów”), a zarazem pozwala na rezygnację z nich w niektórych dalszych analizach (wtedy gdy nadmiar danych utrudnia ich przeprowadzenie lub zrozumienie wyników).

Ryc. 15 (następna strona). Dendryt przedstawiający związki między ważniejszymi zmiennymi opisującymi materiał *Prunus spinosa* L. uzyskane o na podstawie odległości korelacyjnej. Wyjaśnienie skrótów na wkładce oraz w „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”.

Rysunek dendrytu zmiennych wydrukowany osobno za pomocą programu „Bonzai”

Niestety niedostępny w wersji elektronicznej.

Dla wszystkich zmiennych zbadano też rozkłady (histogramy), osobno dla każdego z typów liści (przykłady - patrz Ryc. 37, Ryc. 38, Ryc. 39, Ryc. 40, w „Dodatku A” na str. 165). W większości przypadków, dla klasycznych zmiennych biometrycznych (wielkości i kształtu) oraz dla zmiennych fraktalnych rozkłady te okazały się mniej lub bardziej niezgodne z rozkładem normalnym⁵⁰. Większość rozkładów jest skośna z modą przesuniętą częściej w kierunku mniejszych wartości, ponadto niektóre są bimodalne. Taki charakter zmiennych wymusił w dalszej analizie statystycznej ostrożne podejście do użycia statystyki parametrycznej.

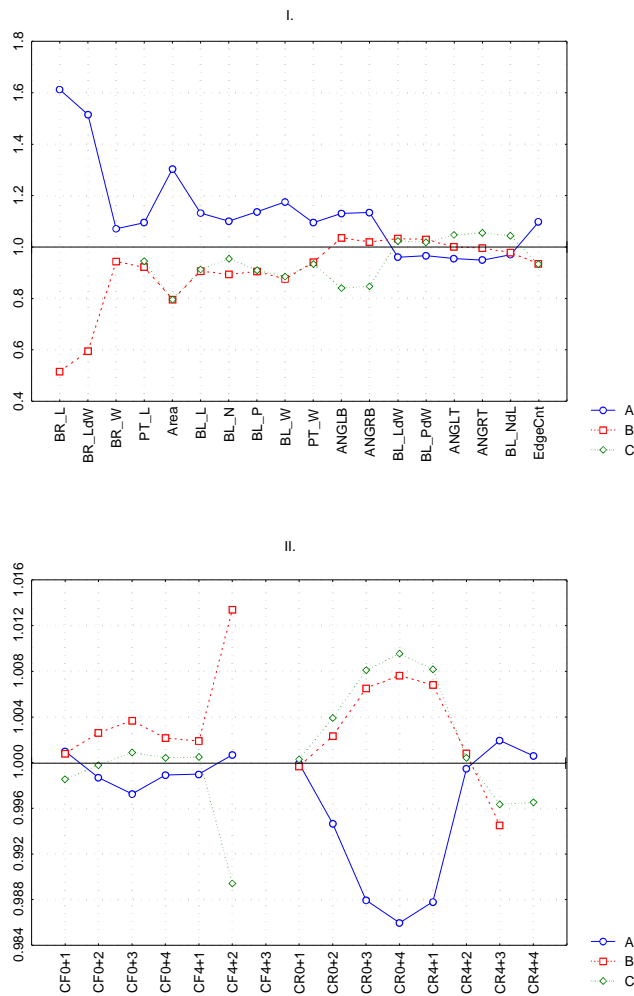
⁵⁰ Potwierdziły to testy Shapiro-Wilka wykonane dla wylosowanej podpuli liści. Rozmiar zbioru wykluczał wykonanie testów dla całego zbioru, a ponadto rozbieżność między aproksymowanym rozkładem normalnym a faktycznym widoczna na histogramach jest dość przekonująca.

4.2. Analiza założonych preklasyfikacji liści

4.2.1. Analiza podziału liści wg typów pędów

Jak opisano („2.2. Zbiór liści i skanowanie” str. 47) liście pochodzące z długopędów, cierni i krótkopędów były traktowane niezależnie. Podział ten dla liści *Prunus spinosa* został zweryfikowany na podstawie uzyskanych pomiarów. Zastosowano metodę profili kształtów JENTYS-SZAFEROWEJ (1959) oraz dwie alternatywne metody analizy dyskryminacyjnej.

Do analizy metodą profili kształtów użyto średnich wartości, cech wielkości i kształtu (klasyczne cechy biometryczne) oraz cech fraktalnych, jako że z całego zbioru cech jedynie te pozwalają na bezpośrednią interpretację wartości co jest w tej metodzie niezbędne. W celu zwiększenia przejrzystości profili, cechy klasyczne zostały uszeregowane na podstawie analizy korelacji między zmiennymi (rozdział 4.1). Jako jednostka porównawcza służyły średnie wartości dla całej próby liści, a jednostkami porównywanymi były średnie wartości dla prób liści zbieranych osobno z długopędów, z cierni i z krótkopędów (Ryc. 16). Z uzyskanego obrazu wynika że liście z długopędów różnią się znacząco od liści z cierni i krótkopędów. Poza oczywistą różnicą w cechach samych pędów, z których pochodziły liście (cechy BR_L, BR_W, BR_LDW), widoczne jest również, że liście długopędowe (A) są w porównaniu ze średnią i z liśćmi cierniowymi (B) wyraźnie większe (cechy wielkości od PT_L do PT_W), ale mniej wydłużone, a ich najszersze miejsce jest bliższe nasady. Kąty nasadowe liści długopędowych są większe (ANGLB, ANGRB), a szczytowe nieznacznie mniejsze (ANGLT, ANGRT).



Ryc. 16. Porównanie wielkości, kształtu (I) oraz cech fraktalnych krawędzi (II) dla liści z trzech typów pędów do próby ogólnej (linia odniesienia). A – liście długopędowe, B - liście cierniowe, C- liście krótkopędowe. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych na wkladce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”.

Profil złożoności krawędzi liści długopędowych (czyli cechy fraktalne; Ryc. 16 II) jest wyraźnie odmienny od analogicznych profili dla pozostałych typów liści. W szczególności, wartości najbardziej powyżej średniej dla liści długopędowych osiągane są dla struktur z zakresu do 2 cm (cechy oparte na wymiarze cyrklowym; CF) lub do 3 cm (cechy oparte na wymiarze korelacyjnym; CR). Dla liści cierniowych i krótkopędowych analogiczna sytuacja jest dla struktur z zakresu do ok. 7,5 mm (CF) i 1 cm (CR).

Profile dla liści cierniowych i krótkopędowych różnią się wyraźnie tylko w niektórych z przedstawionych cech (np. CF4_2). Poza cechami pędowymi, których dla liści krótkopędowych w ogóle nie mierzono ponieważ krótkopędy tarniny mają rozmiary od ok. 1 do najwyżej 5 mm, liście krótkopędowe w cechach tych są bardziej zbliżone do globalnej średniej. Różnice można odnotować w takich cechach jak położenie najszerszego miejsca blaszki liściowej, kąty nasadowe i szczytowe oraz oparte na wymiarze cyrklowym cechy krawędzi blaszki (CF).

Analiza dyskryminacyjna podziału liści wg pochodzenia z różnych typów pędów została przeprowadzona na danych surowych obejmujących całą próbę liści tarniny. Klasyczną, czyli parametryczną (wariancyjną) analizę dyskryminacyjną przeprowadzono jedynie dla zmiennych wielkości i kształtu liści oraz zmiennych fraktalnych, co było podyktowane technicznymi ograniczeniami na liczbę zmiennych analizowanych w programie STATISTICA. Zanalizowano zarówno ten podzbiór liści próby, dla których obliczone były wszystkie cechy (Tab. 6), jak i całą próbę, zastępując wartości brakujące globalnymi wartościami średnimi dla danej cechy (Tab. 7). Ponieważ ze sposobu jakim parametryczna analiza dyskryminacyjna weryfikuje klasyfikacje wynika, że wartość procentowa może być zawyżona, dla zestawu zmiennych uzyskanych za pomocą analizy dyskryminacyjnej z uzupełnianiem wartości brakujących przeprowadzono nieparametryczną walidację krzyżową⁵¹ algorytmem najbliższego sąsiada z użyciem normalizowanej odległości miejskiej (Tab. 8). Przeprowadzono także nieparametryczną analizę dyskryminacyjną na kompletnym zestawie cech liściowych obejmującym niezmienniki momentów i eliptyczne współczynniki Fouriera (Tab. 9).

⁵¹ W analizie dyskryminacyjnej obiekt jest przyporządkowywany do klasy za pomocą funkcji klasyfikującej, w której tworzeniu obiekt ten był jednym z wzorców. W nieparametrycznej walidacji krzyżowej obiekt jest przyporządkowywany do klasy na podstawie zestawu wzorców obejmujących całą próbę za wyjątkiem aktualnie testowanego obiektu. Stąd walidacja krzyżowa lepiej przybliża zadanie klasyfikacji (lub rozpoznawania) obiektów całej zbiorowości, a nie samej próby.

Tab. 6. Najlepsze odzwierciedlenie zadanej preklasyfikacji liści wg typów pędów (A, B, C) za pomocą analizy dyskryminacyjnej z usuwaniem przypadków z wartościami brakującymi. Wiersze: klasyfikacja obserwowana (preklasyfikacja). Kolumny: klasy uzyskane na podstawie danych. Zmienne: ANGLB, BL_W, BL_NDL, ANGRB, BL_P, ANGRT, CF0_4, BL_L, CR0_3, BL_PDW, CF0_1, CF0_2, CR0_1, CR0_2, ANGLT, BL_N, PT_W, AREA, CR0_4, CF0_3, PT_L, BL_LDW.

KLASY	A	B	C	SUMY	PROCENT TRAFIEŃ
A	1046	342	164	1552	67.39690%
B	109	330	143	582	56.70103%
C	60	234	696	990	70.30303%
Ogółem	1215	906	1003		66.32523%

Tab. 7. Najlepsze odzwierciedlenie zadanej klasyfikacji liści (A, B i C) za pomocą analizy dyskryminacyjnej z zastępowaniem brakujących wartości przez średnie wartości zmiennej dla całego zbioru (wartość obojętną). Wiersze: klasyfikacja obserwowana (preklasyfikacja). Kolumny: klasy uzyskane na podstawie danych. Zmienne: BL_W, BL_NDL, ANGRB, ANGLB, BL_PDW, ANGRT, CF0_4, ANGLT, PT_W, CR0_2, CF0_2, CF0_1, CR0_1, CR0_4, BL_N, BL_L, PT_L, CF0_3, BL_P, BL_LDW, AREA.

KLASY	A	B	C	SUMY	PROCENT TRAFIEŃ
A	1620	457	415	2492	65.00803%
B	252	708	390	1350	52.44444%
C	205	467	1686	2358	71.50127%
Ogółem	2077	1632	2491		64.74194%

W celu sprawdzenia znaczenia eliptycznych współczynników Fouriera wykonano walidację krzyżową dla zestawu cech uzyskanych za pomocą nieparametrycznej analizy dyskryminacyjnej (cechy dla Tab. 9) zubożonego o cechy Fourierowskie (EF). Uzyskano ogólny procent zgodności preklasyfikacji z klasyfikacją uzyskaną (procent trafień) wynoszący 60.35%. Oznacza to, że tylko dla około 2.5% liści z próby cechy Fourierowskie mają decydujące znaczenie w prawidłowym rozpoznawaniu typu pędu z którego pochodzi liść (Tab. 10).

Tab. 8. Walidacja krzyżowa zestawu zmiennych uzyskanych za pomocą analizy dyskryminacyjnej przy zastępowaniu brakujących wartości średnimi. Macierz „normalizowana odległość miejska”. Zmienne: BL_W, BL_NdL, ANGRB, ANGLB, BL_PdW, ANGRT, CF0_4, ANGLT, PT_W, CR0_2, CF0_2, CF0_1, CR0_1, CR0_4, BL_N, BL_L, PT_L, CF0_3, BL_P, BL_LdW, AREA.

KLASY	A	B	C	SUMY	PROCENT TRAFIEŃ
A	1587	432	473	2492	63.68%
B	359	553	438	1350	40.96%
C	416	408	1534	2358	65.06%
Ogółem					59.29%

Tab. 9. Najlepsze odzwierciedlenie preklasyfikacji liści wg typów pędów (A, B, C) metodą najbliższego sąsiada z użyciem „normalizowanej odległości miejskiej”. Wiersze: klasy obserwowanej preklasyfikacji. Kolumny: klasy uzyskane na podstawie danych. Zmienne: PT_L, PT_W, BL_L, BL_W, BL_N, AREA, BL_LdW, BL_PdW, BL_NdL, ANGLT, ANGRT, ANGLB, ANGRB, CR0_1, CR0_2, CR0_4, CR4_3, CF0_1, CF0_2, CF0_4, CF4_1, EdgeCnt, M_invB, M_invC, M_invD, EF_A1, EF_B1, EF_C1, EF_B2, EF_C2, EF_A3, EF_B3, EF_C3, EF_B4, EF_C4, EF_A5, EF_C6, EF_B7, EF_A8.

KLASY	A	B	C	SUMY	PROCENT TRAFIEN
A	1585	443	464	2492	63.60%
B	307	652	391	1350	48.30%
C	304	395	1659	2358	70.36%
	2196	1490	2514		62.84%

Tab. 10. Walidacja krzyżowa zestawu zmiennych uzyskanych za pomocą nieparametrycznej analizy dyskryminacyjnej liści wg typów pędów (Tab. 9) po usunięciu eliptycznych współczynników Fouriera. Wiersze: klasy obserwowanej preklasyfikacji. Kolumny: klasy uzyskane na podstawie danych. Zmienne: PT_L, PT_W, BL_L, BL_W, BL_N, AREA, BL_LdW, BL_PdW, BL_NdL, ANGLT, ANGRT, ANGLB, ANGRB, CR0_1, CR0_2, CR0_4, CR4_3, CF0_1, CF0_2, CF0_4, CF4_1, EdgeCnt.

KLASY	A	B	C	SUMY	PROCENT TRAFIEN
a	1593	426	473	2492	63.92%
b	337	584	429	1350	43.26%
c	395	398	1565	2358	66.37%
Ogółem					60.3548%

Podobnie postąpiono usuwając cechę liczby zębów wykrytych na krawędzi metodą gramatyk kształtu (*EdgeCnt*) uzyskując wynik 62.34%, tzn. że jedynie dla 0.5% liści cecha ta jest decydująca dla prawidłowego rozpoznania.

Jakościowo wyniki analiz dyskryminacyjnych są zbliżone i częściowo zgodne z wynikami analizy profili kształtu. Całkowity procent liści, których preklasyfikacja wg typów pędów jest zgodna z klasyfikacją uzyskaną na podstawie danych pomiarowych, waha się w okolicy 60%. Najlepsze odzwierciedlenie preklasyfikacji uzyskuje się dla liści z krótkopędów (C), nieco gorsze dla liści z długopędów (A). Natomiast około połowy liści cierniowych (B) okazuje się być bardziej podobne do liści długo- lub krótko- pędowych niż do pozostałych liści cierniowych. Ten ostatni wynik nie ma odzwierciedlenia w analizie profili kształtu najprawdopodobniej dlatego, że użyty tam podzbiór cech nie obejmował cech Fourierowskich, których wartość różnicująca jest najbardziej znacząca dla liści B i C (por. Tab. 9 i Tab. 10).

Ostatecznie z powyższej analizy wynika, że wprowadzony podczas zbioru materiału podział liści wg typów pędów z których pochodziły był słuszny i w dalszej analizie uzasadnione jest osobne

traktowanie liści poszczególnych typów. Uzasadnione jest też uznanie cechy poszczególnych typów liści jako osobnych cech osobników i populacji. Np. cechami populacji powinny być osobno „średnia długość liści długopędowych”, „średnia długość liści cierniowych” i „średnia długość liści krótkopędowych”, a nie „średnia długość liścia” w ogóle.

4.2.2. Analiza podziału liści wg stanowisk

Specyfika lokalnych populacji tarniny została zanalizowana na podstawie średnich wartości cech pędów ostatniego rzędu i ich liści. Podzbiór cech klasycznych i fraktalnych (patrz Tab. 21 i Tab. 22 od str. 169 w „Dodatku A”) analizowano z użyciem metody niehierarchicznej klasyfikacji algorytmem genetycznym, oraz metody graficznej JENTYS-SZAFEROWEJ (1959).

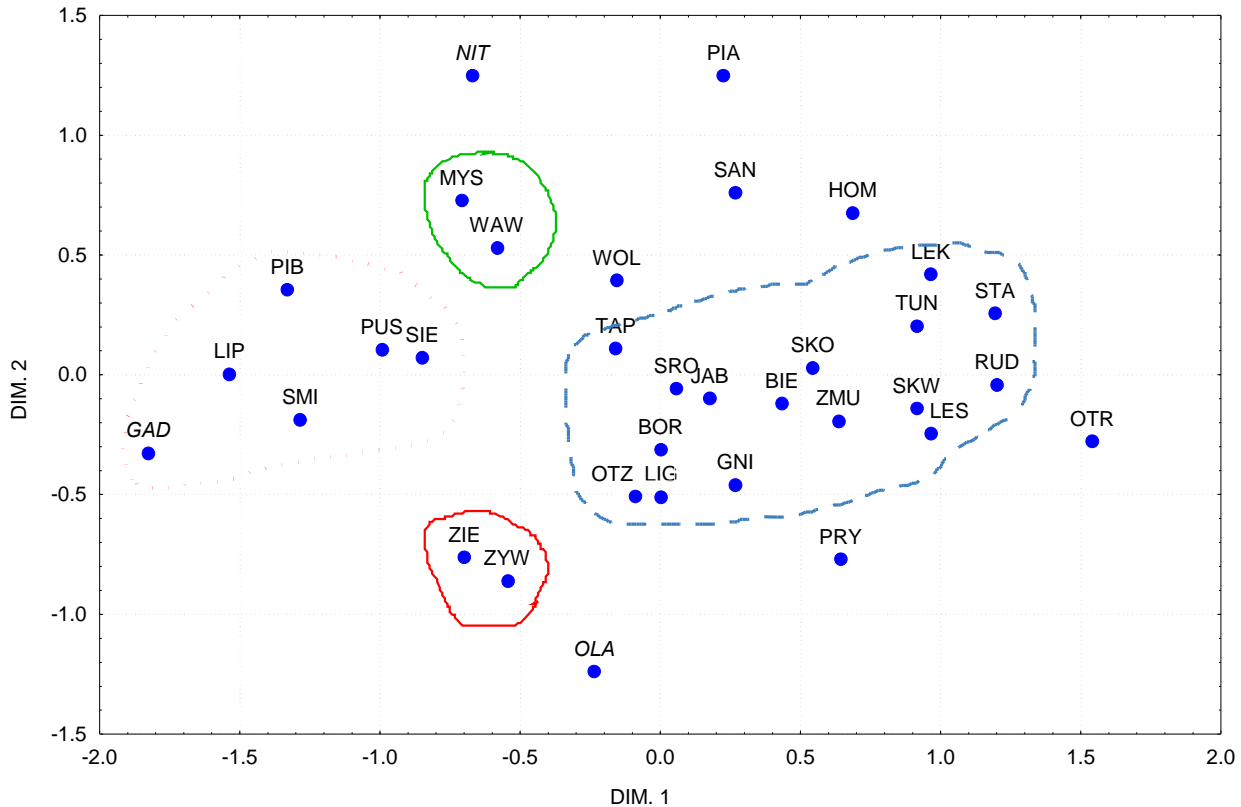
Klasyfikacje stanowisk na podstawie średnich cech liści i pędów algorytmem genetycznym wykonano osobno dla liści każdego typu oraz zbiorczo dla cech wszystkich typów liści i pędów używając macierzy normalizowanej odległości miejskiej. Ze względu na probabilistyczny charakter algorytmu (por. „3.2.5.1. Klasyfikacja niehierarchiczna algorytmem genetycznym i uzgodniona klasyfikacja niehierarchiczna.” i „B 2.2. Algorytm zrealizowany w programie CLAGEN”) wykonywano po 200 powtórzeń, po 100 cykli dla populacji 500 rozwiązań, osobno dla każdego typu liści i sumy cech (3+1) oraz dla każdej z czterech funkcji jakości klasyfikacji. Ostatecznie na podstawie najlepszych klasyfikacji dla każdej funkcji jakości budowano uzgodnioną klasyfikację.

Tab. 11. Klasyfikacje uzgodnione stanowisk tarniny uzyskane za pomocą algorytmu genetycznego na podstawie średnich wartości cech wielkości i kształtu oraz cech fraktalnych osobno dla każdego z typów liści (A, B, C). W nawiasach skróty nazw stanowisk słabiej związanych z grupą (np. „(san)”), pochylał czcionką nazwy stanowisk spoza Polski (np. *oła*), *Mn* oznacza umowny obiekt średni dla całej próby. Wyjaśnienie skrótów na wkładce.

A	(<i>nit</i>) (san) (mys)
	<i>Mn</i> bie bor gni jab les lek lig <i>oła</i> otz pia pry rud sie sko skw sro sta tap tun wol zmu
	waw <i>gad</i> lip pib pus smi
	zie zyw
	otr
B	(mys) (<i>nit</i>)
	<i>Mn</i> bie bor gni jab lek <i>oła</i> otz pia san sko sro (tap) waw zie zmu zyw (lig)
	les rud skw sta
	<i>gad</i> lip pib pus sie smi wol
	pry
C	<i>Mn</i> bie bor gni jab les lig <i>oła</i> otz pry san skw sro sta wol zmu
	lek otr sko
	mys pib pus sie smi waw
	lip zie
	pia
	rud
	tap

Tab. 12. Klasyfikacja stanowisk tarniny uzyskana za pomocą algorytmu genetycznego na podstawie połączonego zestawu średnich wartości cech wielkości i kształtu oraz cech fraktalnych osobno dla każdego z typów liści. W nawiasach skróty nazw stanowisk słabiej związanych z grupą (np. „(san)”), pochylał czcionką nazwy stanowisk spoza Polski (np. *oła*), nazwy w nawiasach w kolorze szarym (np. „(san)”) oznaczają alternatywną przynależność stanowiska. Wyjaśnienie skrótów na wkładce.

(<i>nit</i>) (<i>oła</i>) (pia)
bie bor gni jab lek les lig otz rud sko skw sro sta tap tun zmu (san)
(san†) mys waw
hom otr pry (wol)
(wol†) <i>gad</i> lip pib pus sie smi
zie zyw



Ryc. 17. Skalowanie wielowymiarowe stanowisk tarniny uzyskane na podstawie macierzy normalizowanej odległości miejskiej obliczonej z połączonego zestawu średnich wartości cech wielkości i kształtu oraz cech fraktalnych osobno dla każdego z typów liści. Pochyłą czcionką nazwy stanowisk spoza Polski (np. *ola*). Konturami zakreślono granice wyraźnych grup stanowisk. Kontur kreskowany – główna grupa stanowisk, kontur kropkowany – alternatywna grupa stanowisk. Wyjaśnienie skrótów na wkładce.

Uzyskane klasyfikacje dla trzech typów liści (Tab. 11) nie są w pełni zgodne, ale daje się w nich zaobserwować wspólny schemat grupowania części stanowisk. Największa grupa stanowisk (około połowa) związana jest zawsze z obiektem reprezentującym średnią całej próby. Poza nią występuje zawsze druga grupa, której rdzeń tworzą stanowiska *pi**b* *pus* *smi* (Piaski, Puszczykówko, Śmiłowo) z dołączonymi trzema lub czterema obiektami. Pozostałe grupy liczą od 1 do 4 elementów i ich skład nie pokrywa się w poszczególnych klasyfikacjach.

Analogicznie przedstawia się klasyfikacja stanowisk uzyskana na podstawie zbiorczego zestawu cech wszystkich typów liści (Tab. 12). Podobny zestaw (raczej typowych) stanowisk tworzy najliczniejszą grupę, następna pod względem liczebności grupa „alternatywna” tworzona jest podobnie wokół stanowisk *pi**b* *pus* *smi*. Ze względu na niejasną przynależność stanowiska *san* (Sandomierz - Góry

Pieprzowe) z grupą główną związana jest grupa stanowisk **san mys waw** (Myślibórz, Góra św. Wawrzyńca). Z grupą „alternatywną” związana jest zaś grupa stanowisk **hom otr pry** (Homole, Otryt, Przysłup) poprzez niepewne stanowisko **woł** (Wolin).

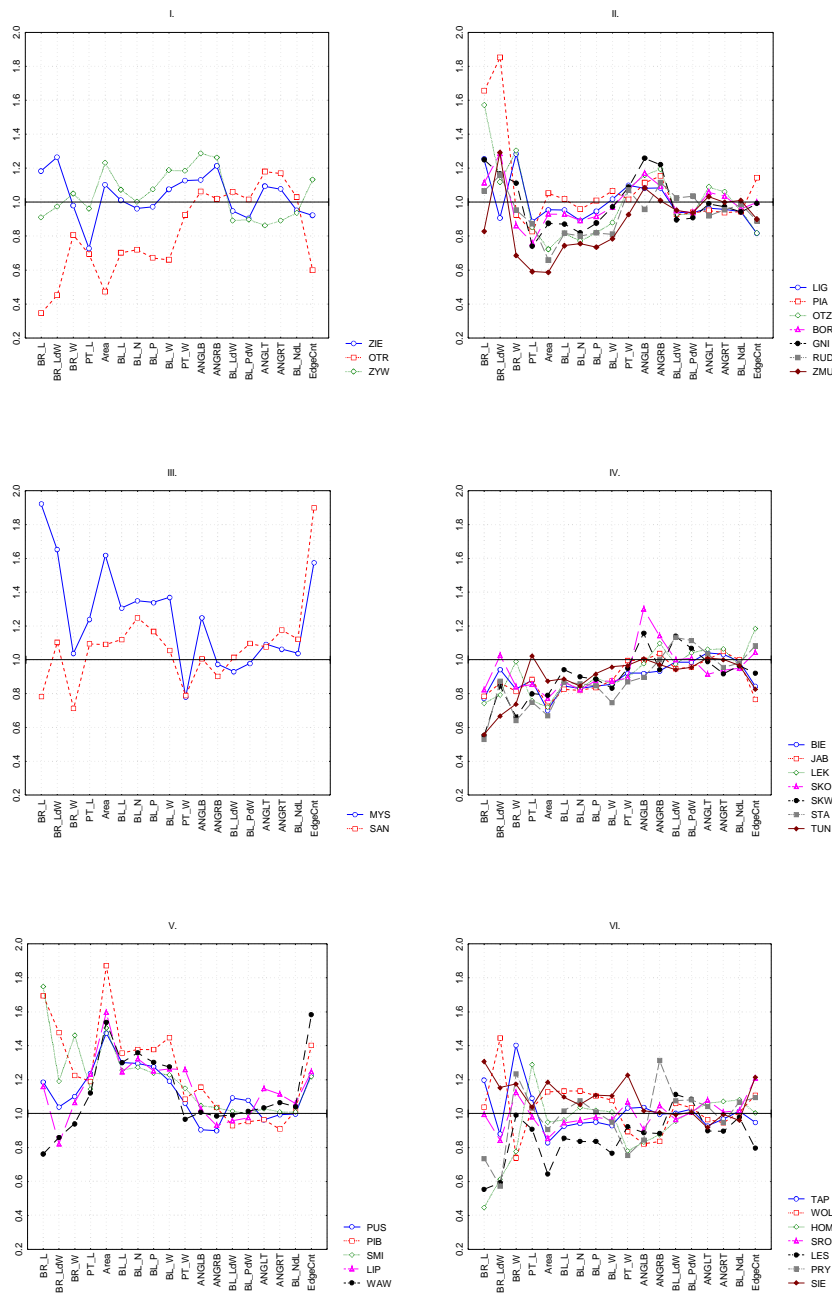
Potwierdzenia takiej interpretacji dostarcza wynik skalowania wielowymiarowego (*multidimensional scaling*) przeprowadzonego dla dwóch wymiarów w oparciu o te same dane (Ryc. 17). W tym wypadku przynależność grup pośrednich (**mys, waw** oraz **zie, zyw**) jest jeszcze bardziej niejasna, a stanowiska spoza Polski lokują się skrajnie, choć nie razem.

Przedstawionych powyżej klasyfikacji stanowisk użyto jako podstawy do grupowania poszczególnych profili cech biometrycznych i fraktalnych w metodzie graficznej Jentys-Szaferowej. Ponieważ jednak dla każdego z typów liści istniała grupa dominująca – największa, dzielono ją dodatkowo wg podobieństwa profili cech wielkości i kształtu. Ponadto pojedyncze stanowiska, uznawane przez niehierarchiczne skupianie za odrębne, przedstawiano na jednym profilu dla oszczędności miejsca. W jednym wypadku, ze względu na wizualne podobieństwo profili dla liści z krótkopędów (C), przeniesiono dwa stanowiska pomiędzy grupami (**mys** i **lip**). Stanowiska spoza Polski przedstawiono na oddzielnych wykresach.

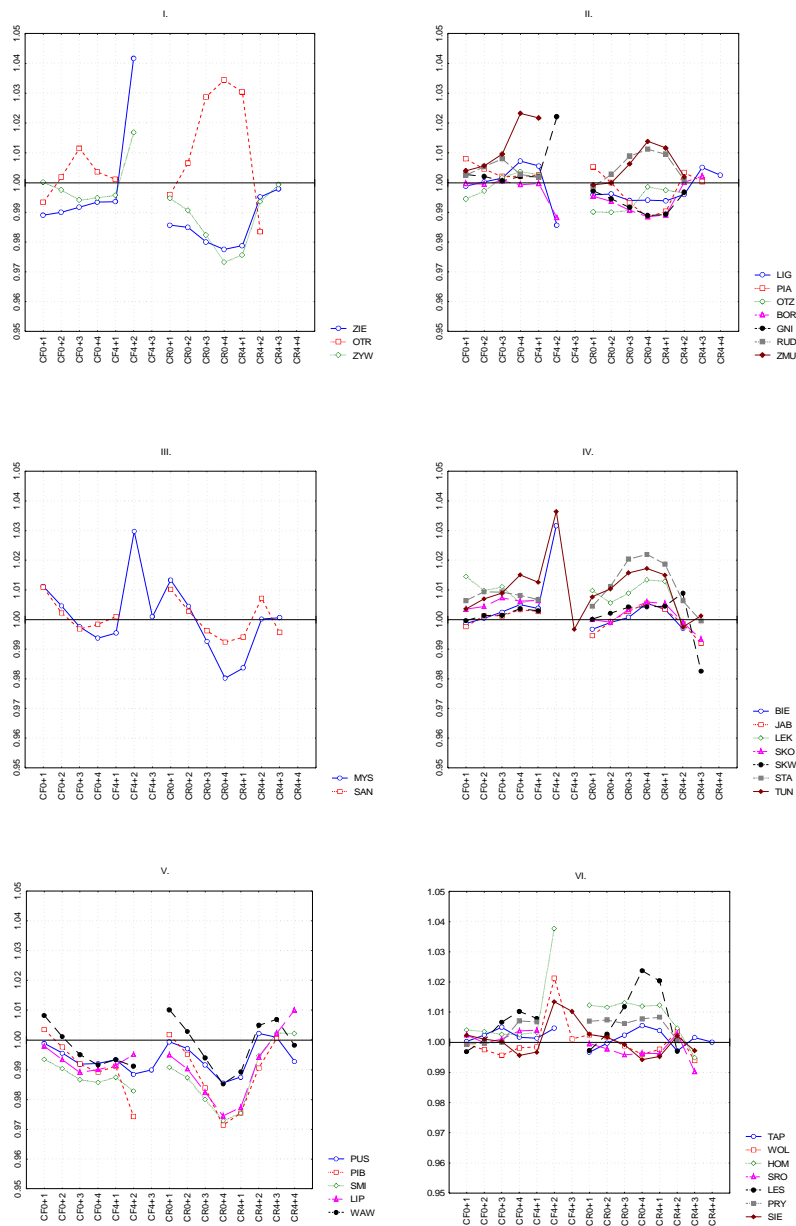
Na wykresach (Ryc. 18, do Ryc. 24) w pierwszym rzędzie uderzająca jest widoczna wyraźnie generalna zgodność przebiegu profilu w obu niezależnych grupach cech co świadczy o tym, że podobieństwa i różnice między stanowiskami dotyczą równolegle cech wielkości i kształtu oraz cech fraktalnych. Największe różnice między stanowiskami dotyczą cech wielkości blaszki liściowej oraz cech pędów ostatniego rzędu, choć nie można nie zauważyć wyraźnego związku ze stanowiskami cech fraktalnych, jednak w tym wypadku bezwzględne wartości różnic są znacznie mniejsze, jako że cała zmienność tych cech mieści się w znacznie węższym zakresie.

Widoczna jest również duża zgodność wykresów w obrębie poszczególnych grup co pozwala uznać je za zgodne z wynikami analizy skupień.

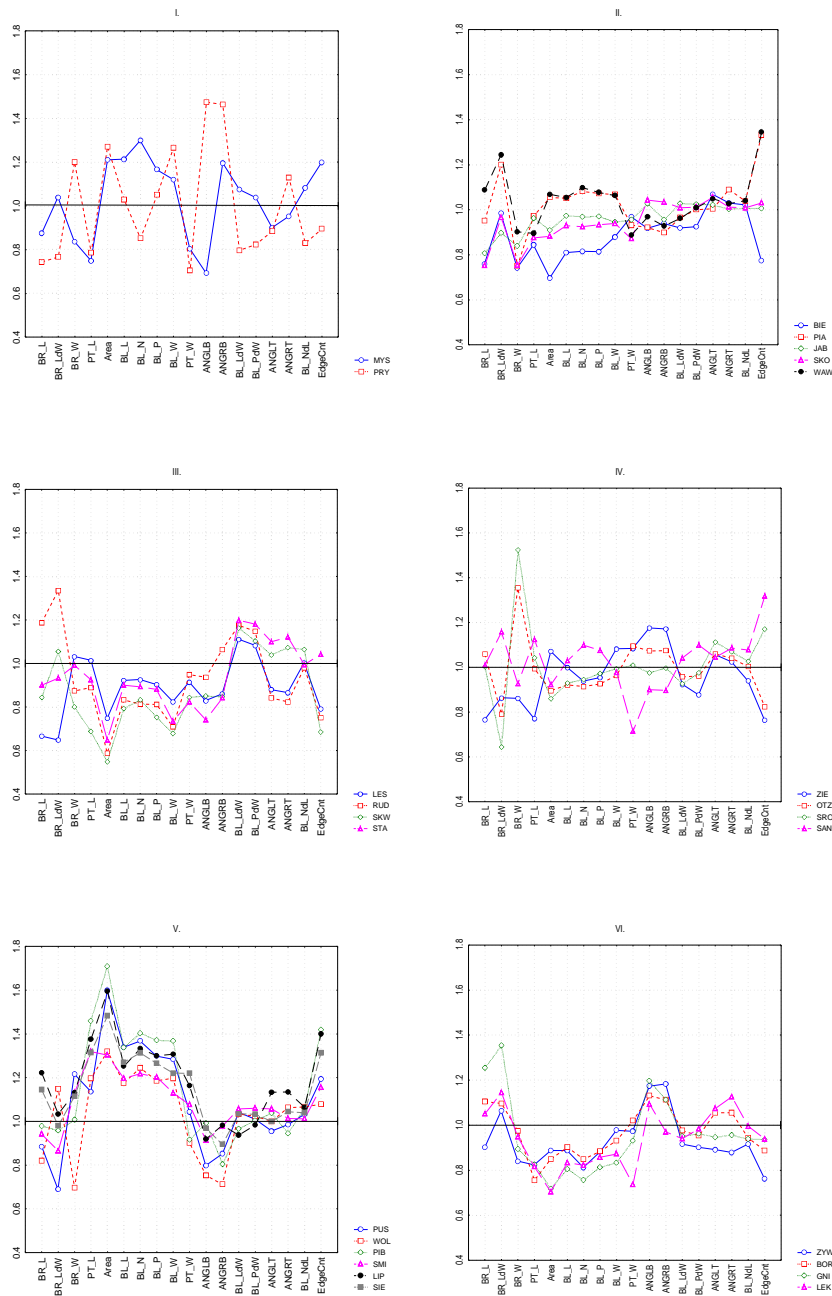
Wykresy potwierdzają też, że stanowiska spoza Polski nie są jakościowo odrębne w stosunku do głównego materiału i choć poszczególne wartości ilościowe dla niektórych cech lokują je w skrajnych położeniach w grupach to jednak mieszczą się one generalnie w zakresie zmienności ustalonym przez stanowiska polskie.



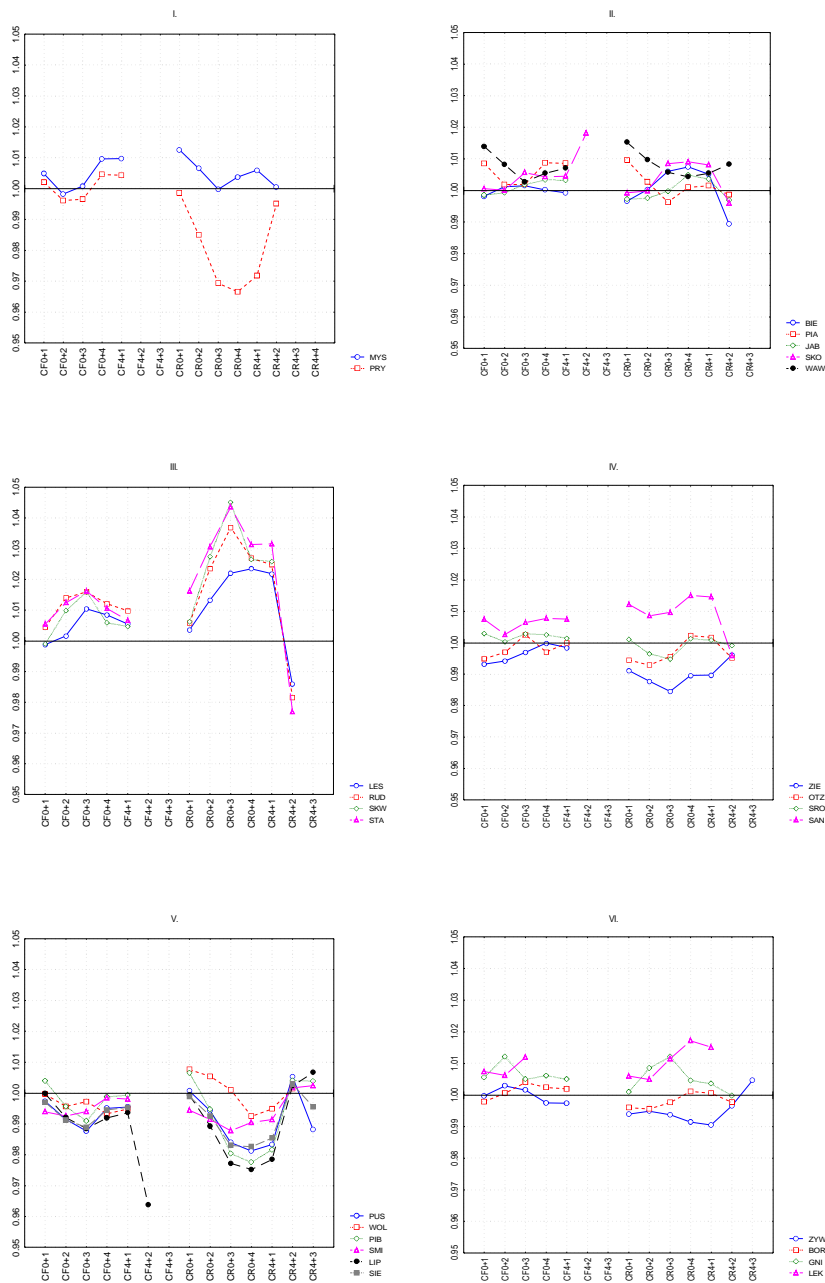
Ryc. 18. Porównanie cech wielkości i kształtu liści długopędowych (A) ze stanowisk *Prunus spinosa* L. z terenu Polski do próby ogólnej (linia odniesienia). Cyframi rzymskimi II, IV, VI oznaczono podgrupy dominującej grupy stanowisk. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych oraz nazw stanowisk na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”.



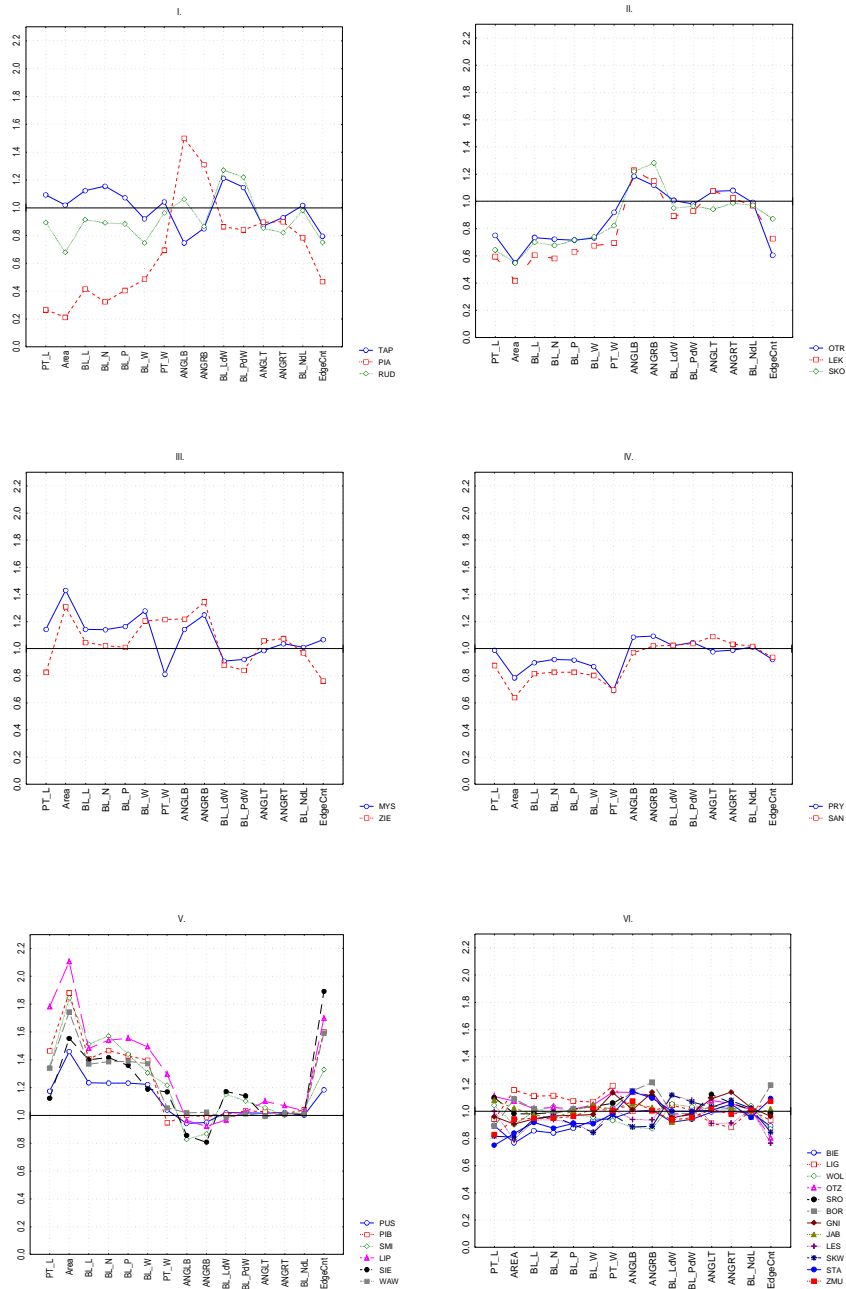
Ryc. 19. Porównanie cech fraktalnych krawędzi blaszki liści długopędowych (A) ze stanowisk *Prunus spinosa* L. z terenu Polski do próby ogólnej (linia odniesienia). Cyframi rzymskimi II, IV, VI oznaczono podgrupy dominującej grupy stanowisk. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych oraz nazw stanowisk na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”.



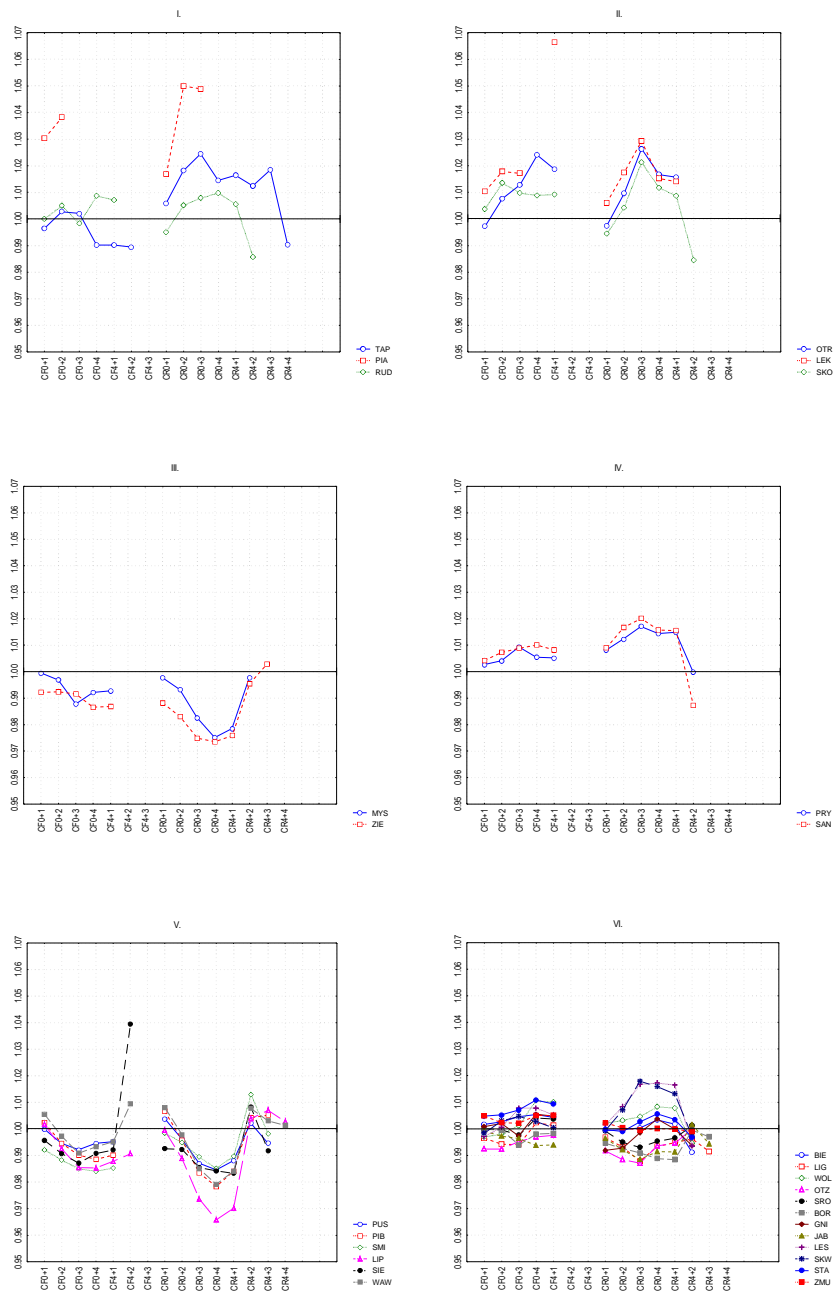
Ryc. 20. Porównanie cech wielkości i kształtu liści cierniowych (*B*) ze stanowisk *Prunus spinosa* L. z terenu Polski do próby ogólnej (linia odniesienia). Cyframi rzymskimi II, IV, VI oznaczono podgrupy dominującej grupy stanowisk. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych oraz nazw stanowisk na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”.



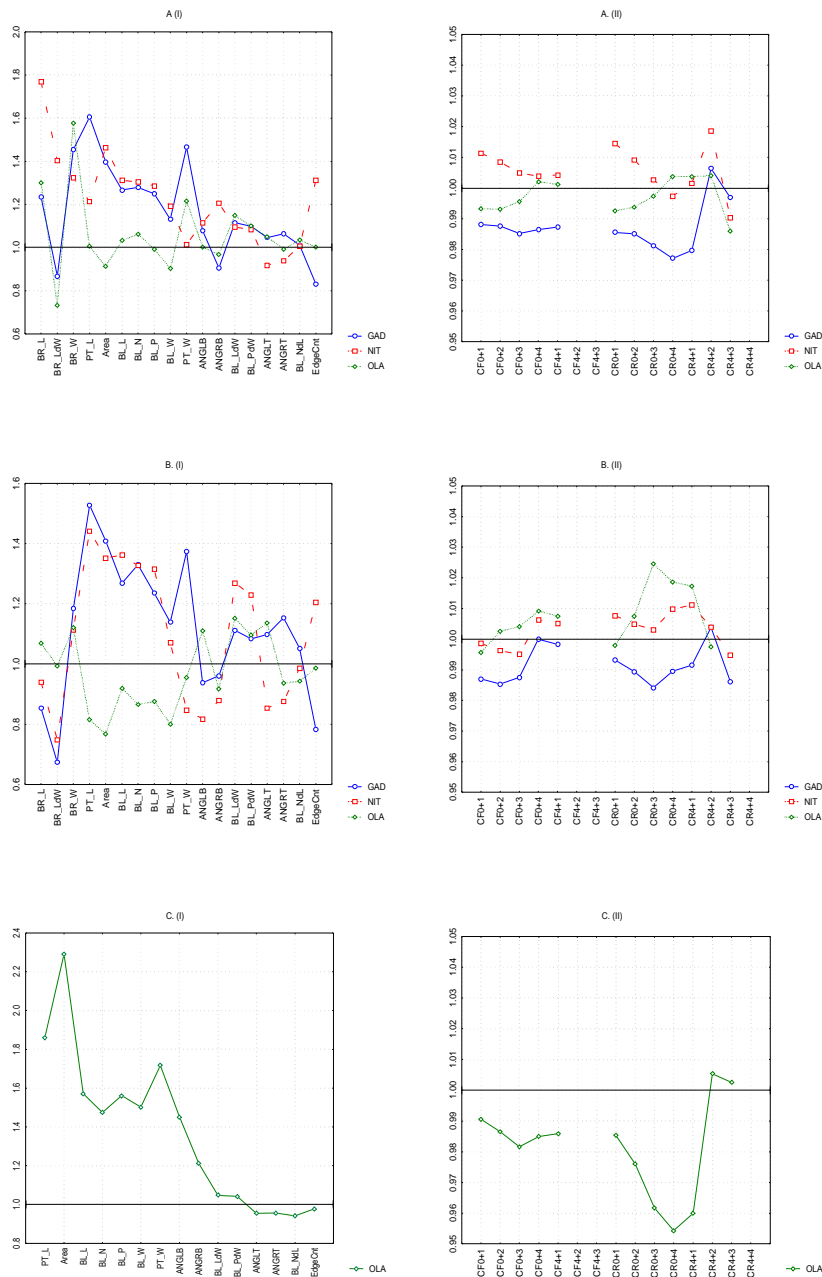
Ryc. 21. Porównanie cech fraktalnych krawędzi blaszki liści cierniowych (B) ze stanowisk *Prunus spinosa* L. z terenu Polski do próby ogólnej (linia odniesienia). Cyframi rzymskimi II, IV, VI oznaczono podgrupy dominującej grupy stanowisk. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych oraz nazw stanowisk na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”.



Ryc. 22. Porównanie cech wielkości i kształtu liści krótkopędowych (C) ze stanowisk *Prunus spinosa* L. z terenu Polski do próby ogólnej (linia odniesienia). Cyframi rzymskimi II, IV, VI oznaczono podgrupy dominującej grupy stanowisk. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych oraz nazw stanowisk na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”.



Ryc. 23. Porównanie cech fraktalnych krawędzi blaszki liści krótkopędowych (C) ze stanowisk *Prunus spinosa* L. z terenu Polski do próby ogólnej (linia odniesienia). Cyframi rzymskimi II, IV, VI oznaczono podgrupy dominującej grupy stanowisk. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych oraz nazw stanowisk na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”.



Ryc. 24. Porównanie wielkości, kształtu (I) oraz cech fraktalnych krawędzi (II) liści trzech typów ze stanowisk spoza terenu Polski do próby ogólnej (linia odniesienia). A – liście długopędowe, B – liście cierniowe, C – liście krótkopędowe. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”.

Dla przykładu położone najdalej na południe stanowisko gad (Gadorosz na Węgrzech) charakteryzuje się liśćmi o średnio najdłuższych ogonkach i dużej

powierzchni, w szczególności zaś bardzo dużymi liśćmi cierniowymi (B) przy braku liści krótkopędowych. Z drugiej jednak strony, pod względem powierzchni liści cierniowych stanowisko to ustępuje między innymi stanowisku **piB** (Piaski) - jednemu z najbardziej północnych stanowisk reprezentowanych w zbiorze.

4.2.3. Walidacja krzyżowa podziału liści wg stanowisk

Dla zweryfikowania wyników graficznych wykonano nieparametryczną analizę dyskryminacyjną podziału liści wg pochodzenia z różnych stanowisk. Została ona przeprowadzona na danych surowych obejmujących całą próbę liści tarniny, osobno dla każdego z typów liści.

Tab. 13. Zestawy zmiennych najlepiej odzwierciedlające pochodzenie liści *Prunus spinosa* z różnych stanowisk wraz z wynikami walidacji krzyżowej. Wiersze A, B, C dotyczą poszczególnych typów liści. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych oraz nazw stanowisk na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”.

Typ liści	Zestaw zmiennych	Procent trafień w walidacji krzyżowej	Procent trafień w walidacji krzyżowej bez cech Fourierowskich (EF..)
A	PT_L PT_W BL_L BL_W BL_N BL_P ANGLB CR0_1 CR0_4 CF0_2 CF0_3 CF4_1 EdgeCnt M_inva M_invb M_invc M_invd M_inve M_invg EF_A1 EF_C1 EF_B2 EF_C2 EF_D2 EF_A3 EF_B3 EF_C3 EF_A4 EF_B4 EF_A5 EF_C6 EF_C7	35.71%	30.89%
B	PT_W BL_L BL_W BL_Ldw BL_Ndl ANGLB CR0_1 CF0_1 CF0_2 CF0_3 M_inva EF_B1 EF_B2 EF_C2 EF_B3	39.85%	28.29%
C	PT_L PT_W BL_W BL_P Area BL_Ldw BL_Pdw BL_Ndl ANGLT ANGRT ANGLB ANGRB CR4_1 CF0_1 EdgeCnt M_inva M_invb M_invc M_invd M_inve M_invf M_invg EF_B2 EF_C2 EF_B3 EF_C3 EF_B4 EF_C4 EF_D4 EF_A5 EF_B5 EF_C7 EF_C10	44.23%	38.59%

W wyniku tej analizy stwierdzono że odzwierciedlenie pochodzenia liści tarniny z poszczególnych stanowisk jest różne dla poszczególnych typów liści, ale w najlepszym razie, dla liści krótkopędowych, wynosi 44% (Tab. 5). Wydaje się to, niestety, zbyt mało, żeby można było z wyników analizy graficznej wyciągać daleko idące wnioski.

Wobec notowanego przez wielu autorów, a także obserwowanego przez autora tej pracy faktu dużej zmienności tarniny w obrębie populacji lokalnych należy się rozważyć możliwość że wynik analizy graficznej (4.2.2. Analiza podziału liści wg stanowisk) odzwierciedla nie tyle różnice między rozkładami normalnymi cech

populacji lokalnych lecz może być artefaktem wynikającym z różnych udziałów w tych populacjach odrębnych morfotypów, które być może powinny być traktowane oddzielnie, a nie jako jedna populacja.

W zestawach zmiennych znajdują się reprezentanci wszystkich grup cech ze relatywnie dużym udziałem cech wielkości. Jednak wobec tego co powiedziano wyżej oraz licznych wzajemnych korelacji między cechami i specyfiki metody konkretny skład zbiorów cech należy traktować ostrożnie.

Dodatkowego materiału dostarcza analiza szczegółowych tabel walidacji krzyżowej (Tab. 23, Tab. 24, Tab. 25 w „Dodatku A”, za str. 173). Widać z nich, że poza rzadkimi przypadkami stanowisk o znacznie większej liczbie trafień, np. Gadorosz czy Homole dla liści A, Załuż dla liści B, Bielinek dla C, oraz częstszymi przypadkami stanowisk o szczególnie niskiej, nawet zerowej liczbie trafień, większość stanowisk ma liczbę trafień zbliżoną do wyniku globalnego. Rozłożenie błędnych trafień w tabelach, tj. stanowiska do których okazują się być najbardziej podobne błędnie zaklasyfikowane liście, także wydaje się dość równomierne. Wyjątki od tego ogólnego wrażenia można łatwo powiązać z nierówną liczbą liści reprezentujących poszczególne stanowiska.

Dla porównania warto przedstawić wyniki walidacji krzyżowej dla zbioru liści różnych gatunków śliw. Użyto takiego samego zbioru zmiennych jak w przypadku tarniny i nieparametryczną analizę dyskryminacyjną przeprowadzono selekcje najlepszego podzbioru zmiennych dla każdego podziału. Dla 738 liści z 7 gatunków rodzaju *Prunus* współczynnik trafień wyniósł 76.83% (przy 36 zmiennych). Test dla tego samego zbioru, ale z podziałem *Prunus domestica* na podgatunki (10 klas) dał współczynnik trafień 75.61% (przy 20 zmiennych). Przy podziale na odmiany (25 klas) współczynnik trafień wyniósł 67.89% (przy 19 zmiennych).

Widać stąd, że taksony wyższego rzędu w obrębie rodzaju *Prunus*, szczególnie gatunki i podgatunki, są stosunkowo dobrze odróżnialne na podstawie cech biometrycznych liści⁵². W przeciwieństwie do taksonów lokalne populacje *Prunus spinosa* L. są

⁵² Choć 25% błędnych oznaczeń może niepokoić i być przesłanką do wykonania dokładniejszych badań morfometrycznych całego rodzaju.

znacznie mniej charakterystyczne morfologicznie. Nie wyklucza to jednak istnienia wyodrębnionych morfotypów, których udział w całości populacji lokalnej jest różny w zależności od stanowiska.

4.3. Analiza morfotypów

4.3.1. Przygotowanie danych na podstawie średnich cech egzemplarzy

W badanym materiale każdy liść oraz pęd ostatniego rzędu (długopęd lub cierni) mógł zostać przypisany do konkretnego okazu - fragmentu gałęzi osobnego krzewu. Zazwyczaj, jeśli już jakiś typ liści czy pędów był na okazie reprezentowany, to występował w podstawowym zbiorze danych w większej liczbie. Zatem dla okazów, analogicznie jak dla całych stanowisk, możliwe było policzenie statystyk poszczególnych cech. Liczono takie statystyki, jak minimum, maksimum, średnia, dominanta, odchylenie średnie i standardowe, mediana i pozostałe kwartyle. Ponieważ jednak tak bogaty zestaw statystyk zwiększyłby i tak już dużą liczbę zmiennych o rząd wielkości, czyniąc taki zbiór danych technicznie nieanalizowalnym, wybrano ich podzbiór tak, by liczba kolumn w zbiorze wynikowym nie przekroczyła 255⁵³. Ostatecznie opisywane dalej analizy wykonano dla zbioru zbudowanego w oparciu o trzy statystyki cech: średnią, medianę oraz trzeci kwartył. Taki zestaw statystyk może być bezpiecznie liczony nawet dla małej liczby elementów (liści danego typu z okazu), a zawiera informację o tendencji centralnej (średnia i mediana), o ewentualnej skośności (różnica między średnią a medianą) oraz o wyciągnięciu rozkładu w stronę większych wartości (Q_3). Nie uwzględniono pierwszego kwartyłu (Q_1) ze względu na limit zmiennych i to, że wydawał się on mniej interesujący zarówno dla cech wielkości liści (bardzo małe wartości dotyczą liści nie w pełni wykształconych) jak i cech fraktalnych (wartości najniższe, tj. bliskie 1 dotyczą zazwyczaj liści, dla których wystąpił najczęstszy artefakt skanowania – zagięcie się pod blaszkę znacznej części ząbków).

W zbiorze cech opisujących okazy tarniny znalazły się po trzy wymienione powyżej statystyki dla:

- cech wielkości i kształtu długopędów i cierni,
- cech wielkości, cech kształtu, cech fraktalnych osobno dla liści długopędowych,

- analogicznie dla liści cierniowych,
- analogicznie dla liści krótkopędowych.

Wyłączono wspomniane w rozdziale „4.1. Analiza zmiennych i związków między zmiennymi” cechy o niewielkiej wartości lub bardzo wysokiej korelacji (ANGLB, ANGLT, CR4_1, CF4_1, CF4_4, CR4_4, a dla liści krótkopędowych także CF4_3 i CR4_3) ostatecznie otrzymując zbiór danych liczący 599 osobników opisane przez 240 cech biometrycznych.

Ze względu na wspomniane już w opisie materiału (patrz „2.2. Zbiór liści i skanowanie”, strona 47) wyraźne zróżnicowanie okazów na reprezentowane przez pędy młode długopędowo-cierniowe (AB) oraz reprezentowane przez pędy starsze długopędowo-krótkopędowe (AC) analizę okazów prowadzono równolegle dla obu typów okazów. Okazy reprezentowane tylko przez liście A połączono w jeden zbiór z okazami AB, zaś okazy reprezentowane tylko przez liście C połączono z okazami AC. Niewielką grupę 72 okazów, dla których udało się pozyskać wszystkie trzy typy liści (ABC) włączono do obu zbiorów. Ostatecznie uzyskano dwa zbiory danych: **AB** zawierający okazy młodsze (typu A, AB, ABC) oraz **AC** zawierający okazy starsze (AC, C) oraz porównawczo okazy **ABC**.

4.3.2. Określenie przynależności okazów do morfotypów i ich udziałów w populacjach lokalnych

Na bazie powyższych macierzy cech okazów tarniny obliczono macierze normalizowanej odległości miejskiej i na ich podstawie za pomocą niehierarchicznego skupiania algorytmem genetycznym znaleziono bliski optymalnemu podział zbiorów okazów AB (306 okazów) i AC (322 okazy) na klasy – morfotypy. Ze względu na duże rozmiary analizowanych zbiorów, zastosowano jedynie jedną funkcję jakości (funkcja nr 4. formuła **b5**, w części „Dodatek B - program CLAGEN.”, str. 188) w 50 eksperymentach po 170 pokoleń dla populacji 600 klasyfikacji. Dla okazów AB algorytm genetyczny znalazł najlepszy podział na 21 klas, dla okazów AC najlepszy był podział na 10 klas. Podziały te, choć były najlepszymi rozwiązaniami ze znalezionych, miały małą powtarzalność (2x na 50), jednak pozostałe znalezione rozwiązania występowały tylko pojedynczo. Różnice

⁵³ 255 jest to limit na liczbę kolumn w pakiecie MS Excell, który używano przy przygotowywaniu tabel danych.

między znalezionymi rozwiązaniami dotyczyły przede wszystkim przynależności pojedynczych okazów, a nie całych grup, co pozwala znalezione podziały uznać przynajmniej za bliskie optymalnym.

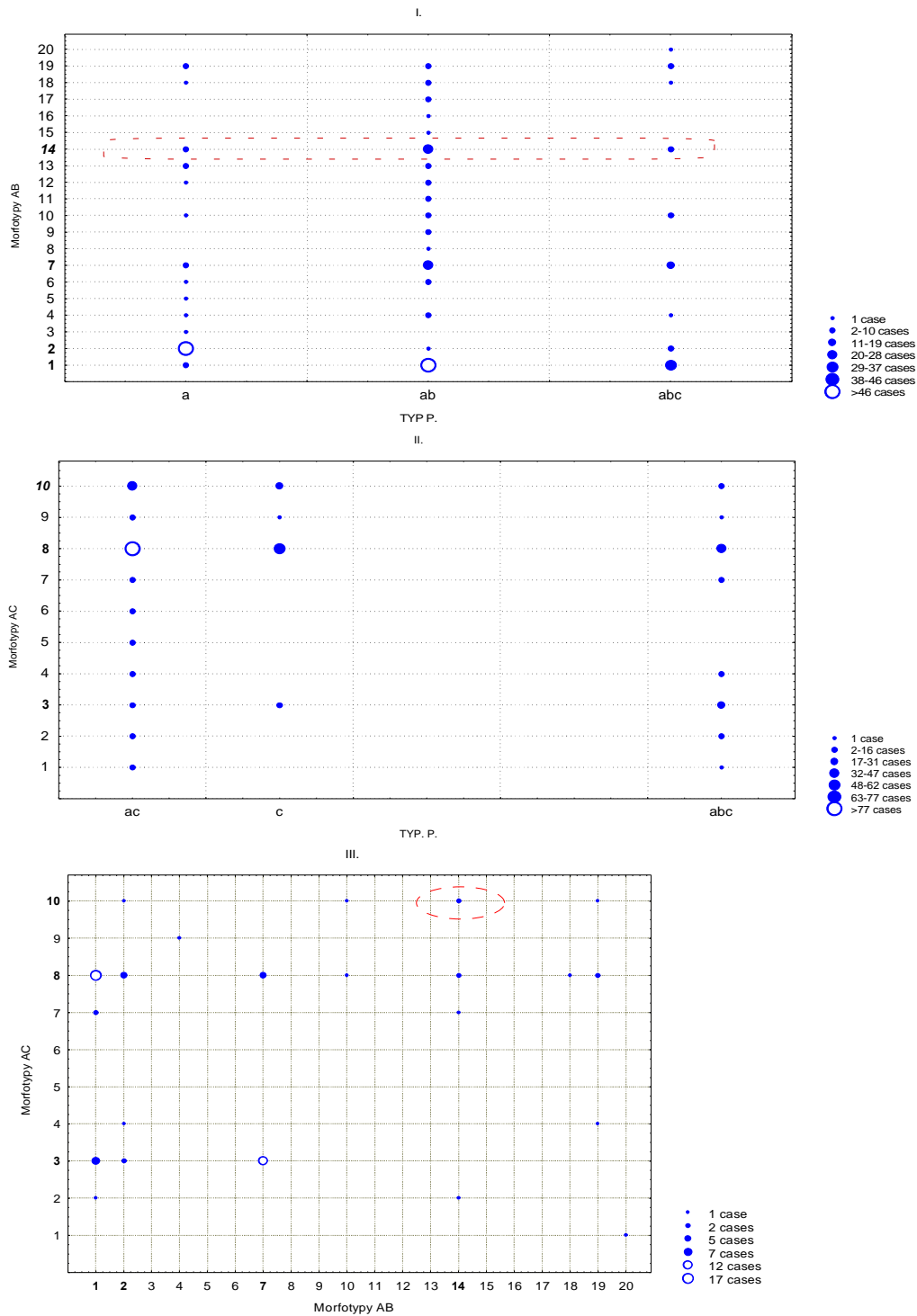
Po uzyskaniu klasyfikacji określono liczebność poszczególnych morfotypów w całym zbiorze i sprawdzono, czy dla okazów daje się zaobserwować związek przynależności do morfotypu i przynależności do typu „wiekowego” (A, AB, ABC oraz ABC, AC, C), a dla okazów opisanych we wszystkich cechach (ABC) zbadano też czy można zaobserwować zależność między przynależnością okazu do morfotypu AB, a przynależnością do morfotypu AC (Ryc. 25).

Już na podstawie zestawienia graficznego można stwierdzić brak wyraźnej (jakościowej) zależności jeśli chodzi o pierwszą z tych hipotez. Obserwowane zależności (np. brak reprezentantów niektórych grup) daje się łatwo wyjaśnić różnicami w liczebności pędów poszczególnych typów. Wyjątek stanowi wyraźny związek dwóch najliczniejszych morfotypów młodych pędów. Morfotyp AB1 związany jest bardziej z okazami AB (ciemnymi) w przeciwieństwie do morfotypu AB2 związanego z okazami A (nieciemnymi).

Dla drugiej hipotezy wynik nie jest jednoznaczny ze względu na małą liczbę okazów opisanych przez wszystkie cechy (okazy ABC). Rzeczywiście okazy reprezentują jedynie kilka z licznych możliwych kombinacji morfotypów AB i AC, co sugeruje, że morfotypy młodych pędów (AB) są w związku z morfotypami pędów starych, a ponadto morfotypy te mogą tworzyć dwie grupy wyższego rzędu.

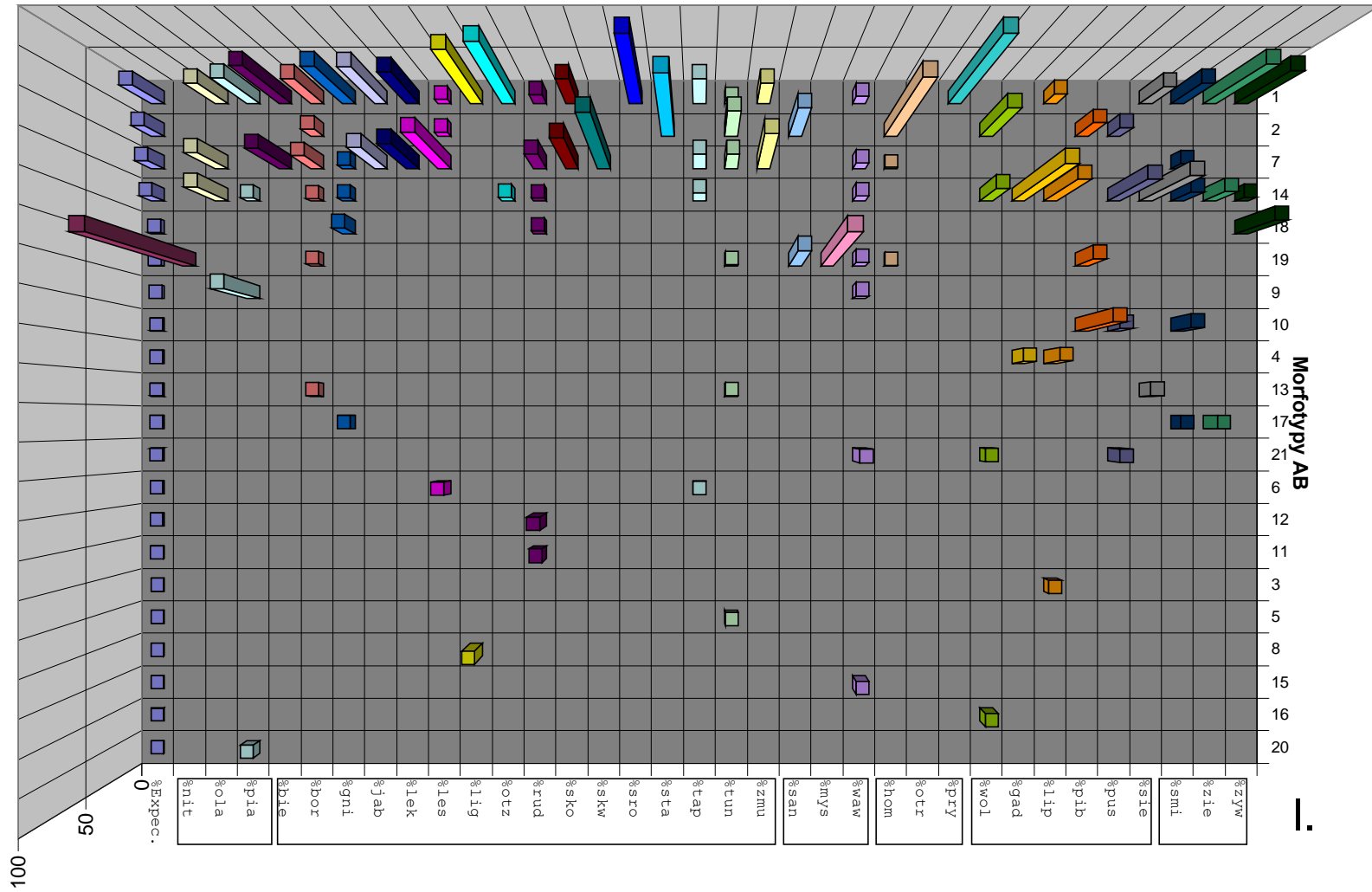
Tab. 14. Nieparametryczna korelacja Tau Kendall’a między stanowiskiem a morfotypami.

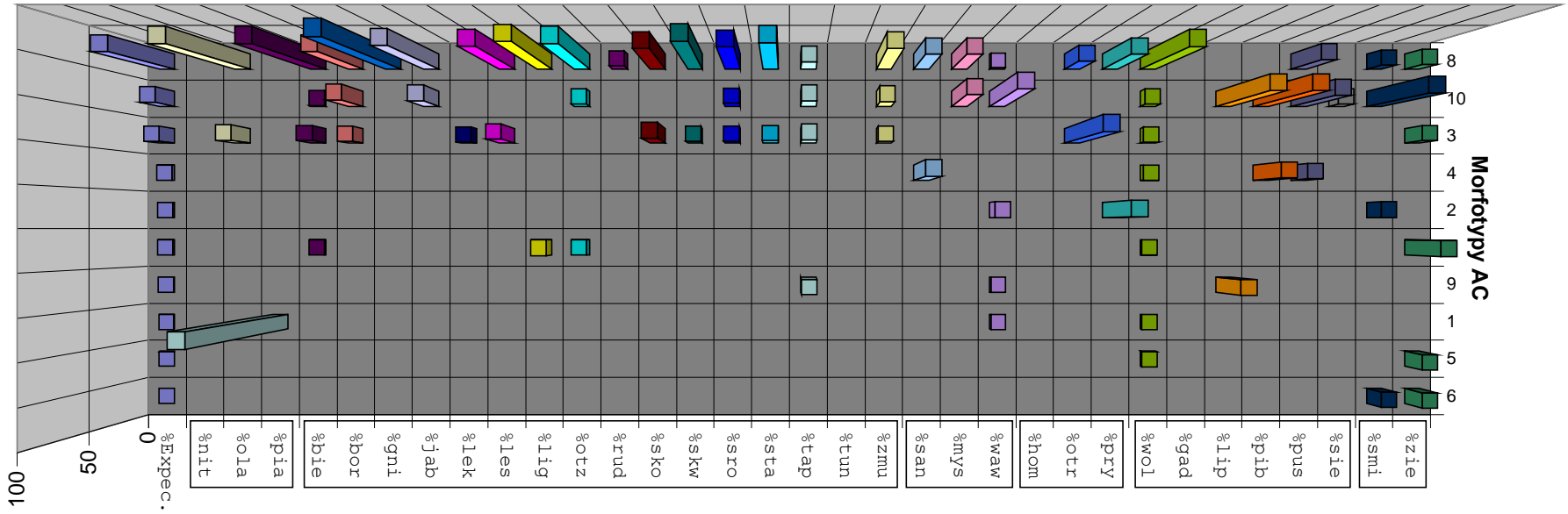
	N	Tau	Z	p-level
Stanowiska versus morfotypy AB	291	0.119934	3.050521	0.002284
Stanowiska versus morfotypy AC	322	0.099049	2.651643	0.00801



Ryc. 25 (obok). Porównanie liczby okazów w poszczególnych morfotypach w zależności od typu pędu (I. i II.) oraz liczby okazów opisanych wszystkimi cechami (ABC) przynależących do poszczególnych kombinacji morfotypów (III). „a”, „ab”, „abc”, „ac” – poszczególne typy pędów. „Morfotypy AB” – symbole numeryczne poszczególnych morfotypów określonych dla młodych pędów. „Morfotypy AC” - symbole numeryczne poszczególnych morfotypów określonych dla starszych pędów. Rozmiar kół w węzłach siatki proporcjonalny do liczby okazów. Linia kreskową otoczono kombinację morfotypów AB14:AC10 reprezentującą być może formę alternatywną.

Ryc. 26 (następne dwie strony). Udział procentowy poszczególnych morfotypów w populacjach lokalnych. I. dla okazów reprezentowanych przez młode pędy (AB), II. dla okazów reprezentowanych przez starsze pędy (AC). Wiersze – poszczególne morfotypy w kolejności udziału procentowego w całej próbie. Kolumny – poszczególne próby lokalne w kolejności grup wg „4.2.2. Analiza podziału liści wg stanowisk”. „Morfotypy AB” – symbole numeryczne poszczególnych morfotypów określonych dla młodych pędów. „Morfotypy AC” - symbole numeryczne poszczególnych morfotypów określonych dla starszych pędów. Wysokość słupków – udział procentowy poszczególnych morfotypów. Kolumna „%Expec.” – udział procentowy spodziewany na podstawie całej próby. Wyjaśnienie skrótów pozostałych kolumn (stanowisk) na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”.





==

Tab. 15 . Nieparametryczne korelacje klasyfikacji okazów z cechami biometrycznymi. Dla obu klasyfikacji morfotypów przedstawiono po 50 najbardziej skorelowanych zmiennych w kolejności malejącej korelacji. „A:” – cecha liści długopędowych (wyróżnione), „B:” – cecha liści cierniowych, „C:” - cecha liści krótkopędowych. Przedrostek „MN” – średnia arytmetyczna cechy ze wszystkich liści okazu. Przedrostki „Q2” i „Q3” – mediana i trzeci kwartył cechy ze wszystkich liści okazu. Wyjaśnienie nazw cech na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”.

Morfotypy AB vs. biometria	N	Kendall Tau	Z	p-level	Morfotypy AC vs. biometria	N	Kendall Tau	Z	p-level
A:Q3BL_L_	194	0.2930114	6.0670004	1.303E-09	C:Q2BL_W_	313	0.5816237	15.349107	0
B:MNCR4_2	129	0.2769649	4.6553569	3.234E-06	C:Q2AREA_	313	0.5723725	15.104967	0
A:Q3BL_P_	194	0.2688151	5.5659995	2.607E-08	C:MNBL_W_	322	0.5652108	15.131249	0
A:Q3BL_N_	194	0.2598448	5.3802624	7.438E-08	C:Q3BL_W_	265	0.5639668	13.680684	1.324E-42
A:Q3AREA_	194	0.2517073	5.211772	1.87E-07	C:MNAREA_	322	0.5578289	14.93363	0
A:MNBL_P_	291	0.2431905	6.185565	6.188E-10	C:Q2BL_P_	313	0.5574661	14.711586	0
A:MNBL_L_	291	0.2391704	6.0833135	1.177E-09	C:Q3AREA_	265	0.5551611	13.467074	2.444E-41
A:Q2BL_L_	289	0.2291359	5.8077807	6.331E-09	C:Q2BL_N_	313	0.5530977	14.596304	0
A:Q3CF0_4	106	-0.218358	-3.3173635	0.0009087	C:Q2BL_L_	313	0.5475188	14.449078	0
A:Q2BL_P_	289	0.2167877	5.4947972	3.912E-08	C:MNBL_P_	322	0.5439073	14.560936	0
A:MNBL_N_	291	0.2086802	5.3077936	1.11E-07	C:Q3BL_P_	265	0.5409198	13.121612	2.476E-39
A:MNAREA_	291	0.206516	5.2527466	1.498E-07	C:MNBL_N_	322	0.5379621	14.401777	0
B:MNCR0_1	211	0.1999436	4.3206654	1.556E-05	C:MNBL_L_	322	0.5378631	14.399125	0
A:Q3BL_W_	194	0.1974065	4.0874352	4.362E-05	C:Q3BL_L_	265	0.5207632	12.632653	1.395E-36
A:Q2AREA_	289	0.1966893	4.9853764	6.184E-07	C:Q3BL_N_	265	0.5197744	12.608666	1.892E-36
B:Q3CR0_1	142	0.1938469	3.4227085	0.00062	C:MNCR4_2	197	0.504063	10.51879	7.078E-26
A:Q2BL_N_	289	0.1917016	4.8589554	1.18E-06	C:Q2CR0_3	307	-0.4976407	-13.00489	1.148E-38
A:Q2CF0_1	271	0.1884372	4.6232319	3.778E-06	C:Q2CR4_2	141	0.4959326	8.7249212	2.664E-18
A:Q2EDGECONT	289	0.1820017	4.6130967	3.967E-06	C:MNCR0_3	322	-0.4865012	-13.024116	8.923E-39
A:MNBL_W_	291	0.1806961	4.5960159	4.306E-06	C:MNCF0_3	306	-0.4861014	-12.682391	7.404E-37
B:Q3BL_L_	161	0.1750158	3.2952065	0.0009835	C:MNCF0_2	322	-0.4808733	-12.873454	6.35E-38
A:Q2BL_W_	289	0.1730242	4.3855495	1.157E-05	C:Q2CF0_2	306	-0.4791413	-12.500803	7.39E-36
B:Q2CR0_1	201	0.1704585	3.5936918	0.000326	C:Q2CF0_3	270	-0.4730687	-11.584846	4.919E-31
B:Q3BL_N_	161	0.1655939	3.1178107	0.001822	C:Q3CR0_3	235	-0.4724661	-10.783802	4.106E-27

B:Q3BL_P_	161	0.1590164	2.9939685	0.0027537	C:Q2EDGECONT	313	0.4704662	12.415649	2.149E-35
B:Q2CF0_1	201	0.1580543	3.3321788	0.0008617	C:Q3EDGECONT	265	0.4664192	11.314379	1.114E-29
A:Q2CR0_1	271	0.1577356	3.8699818	0.0001088	C:Q2CR0_4	302	-0.460889	-11.944849	6.908E-33
B:Q3CF0_3	114	-0.1565352	-2.4690623	0.0135468	C:Q3CF0_3	203	-0.4597057	-9.7406721	2.022E-22
B:Q3CF0_1	142	0.1555033	2.7456849	0.0060385	C:Q2PT_L_	311	0.4509991	11.863402	1.834E-32
B:Q3ANGLT	161	-0.1526166	-2.8734734	0.0040599	C:MNPT_L_	322	0.4414072	11.816906	3.192E-32
B:MNCRO_2	211	0.1476811	3.1913035	0.0014163	C:Q3CR0_4	233	-0.4399261	-9.9976397	1.561E-23
B:MNBL_L_	211	0.1475624	3.1887374	0.001429	C:Q3PT_L_	264	0.4362226	10.561623	4.488E-26
B:MNCFO_1	211	0.1466257	3.1684959	0.0015323	C:Q3CF0_2	235	-0.4323593	-9.8683853	5.708E-23
A:MNCFO_1	291	0.1452753	3.6950858	0.0002198	C:MNCRO_4	321	-0.4227625	-11.29999	1.312E-29
A:Q3PT_L_	189	0.144525	2.952975	0.0031473	C:Q2CF0_4	188	-0.4026934	-8.2057447	2.292E-16
B:Q2CR0_2	201	0.1440139	3.0361724	0.002396	C:MNCFO_4	241	-0.4011976	-9.2750072	1.776E-20
A:Q2ANGLT	289	-0.1409133	-3.5716517	0.0003547	C:Q3CF0_4	117	-0.3596632	-5.7494349	8.954E-09
A:MNANGLT	291	-0.1389809	-3.5349879	0.0004078	C:MNCRO_2	322	-0.350681	-9.3880758	6.111E-21
B:Q2BL_L_	208	0.1356237	2.9094946	0.0036201	C:Q2CR0_2	308	-0.3459091	-9.0545511	1.371E-19
B:Q3EDGECONT	161	0.134631	2.5348387	0.0112499	C:Q2PT_W_	311	0.3311678	8.7112732	3.005E-18
B:Q3BL_LDW	161	0.1330618	2.5052941	0.012235	C:MNPT_W_	322	0.3281478	8.7848396	1.566E-18
A:MNCFO_4	278	-0.13232	-3.2886107	0.0010068	C:Q3CR0_2	235	-0.3187763	-7.2759104	3.441E-13
B:MNANGLT	211	-0.1318444	-2.8490815	0.0043846	A:Q2CF0_3	202	-0.3085884	-6.5222573	6.926E-11
B:MNBL_P_	211	0.1318414	2.8490174	0.0043855	A:Q3CF0_3	100	-0.3042623	-4.4853373	7.28E-06
A:Q2CF0_2	271	0.1317118	3.2314966	0.0012314	A:MNBL_N_	226	0.2963452	6.6311903	3.33E-11
B:Q2EDGECONT	208	0.1275381	2.7360368	0.0062184	A:MNBL_L_	226	0.2933072	6.5632119	5.266E-11
A:Q3ANGLT	194	-0.1268865	-2.6272707	0.0086073	C:Q3PT_W_	264	0.2920441	7.070838	1.54E-12
B:Q2ANGLT	208	-0.1262776	-2.7089949	0.0067487	A:Q2BL_N_	224	0.287725	6.4093089	1.462E-10
A:Q2CF0_4	238	-0.1239704	-2.8478322	0.0044018	A:Q2BL_L_	224	0.2847403	6.3428221	2.256E-10
A:Q3EDGECONT	194	0.1232114	2.5511768	0.010736	A:Q2AREA_	224	0.2815294	6.2712965	3.581E-10

Traktując wyróżnione morfotypy jako dodatkowe zmienne opisujące okazy zbadano ich korelację z przynależnością okazów do stanowisk. Ponieważ zarówno morfotypy jak i stanowiska są zmiennymi nominalnymi, zastosowano nieparametryczną korelację Tau Kendall'a. Test ten wykazał (Tab. 14), że istnieje pewien („niepodważalny” patrząc na poziom ufności) związek, ale nie jest on zbyt silny.

Następnie porównano udział procentowy osobników poszczególnych morfotypów w populacjach lokalnych oraz w całej próbie (Ryc. 26). Zestawienie to pokazuje, że różnice między populacjami lokalnymi, które wcześniej stwierdzono, są przede wszystkim wynikiem różnego udziału głównych morfotypów. Zarówno dla młodych pędów jak i dla starszych występują po dwie główne grupy stanowisk oraz po kilka stanowisk o charakterze pośrednim, przy czym ich układ pozostaje w wyraźnej korespondencji do analizy stanowisk opartej na średnich wartościach cech populacji lokalnych („4.2.2. Analiza podziału liści wg stanowisk”). Główna grupa stanowisk charakteryzuje się dominacją najpopularniejszych morfotypów AB1 i AC8 powiązanych z subdominującymi morfotypami AB7 i AC3. W „alternatywnej” grupie stanowisk dominuje morfotyp AB14, czwarty z kolei wśród morfotypów młodych pędów pod względem liczebności w próbie ogólnej, oraz morfotyp AC10 subdominujący, wśród morfotypów starszych pędów. Wspomniany wcześniej morfotyp AB2 (grupujący niecierliste młode pędy), choć subdominujący nie jest rozmieszczony w sposób korespondujący z klasyfikacją populacji lokalnych. Jest znaczący zarówno dla części stanowisk zbliżonych do grupy głównej jak też wśród stanowisk bliskich grupie alternatywnej oraz stanowisk o przynależności pośredniej.

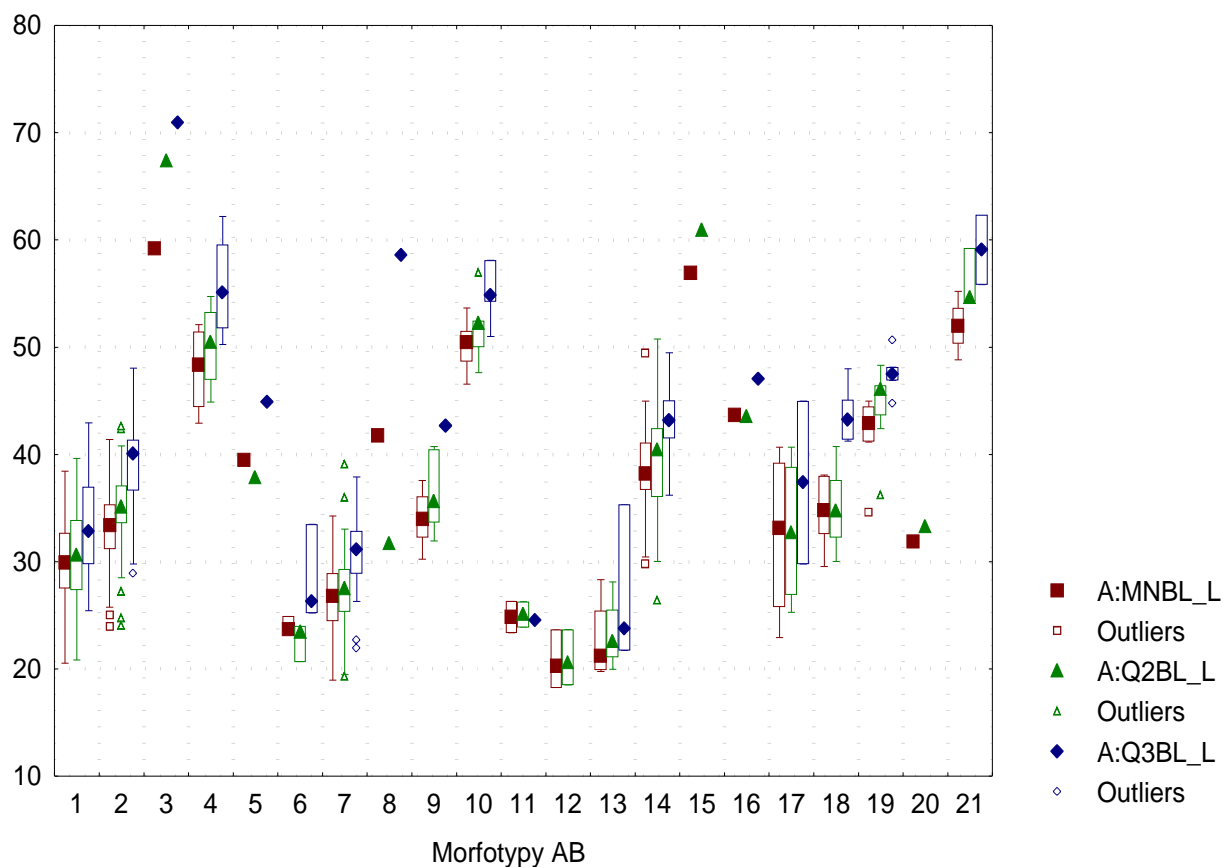
Morfotyp ten może być jednak artefaktem samego sposobu zbierania. Młode osobniki tarniny raczej nie bywają pozbawione cierni, często natomiast posiadają bardzo długie szczytowe długopędy, co mogło powodować, że część z cierniami nie trafiała do odciętego fragmentu.

4.3.3. Morfotypy a poszczególne zmienne biometryczne

Pewien wgląd w naturę omawianych morfotypów daje zbadanie ich korelacji Tau z poszczególnymi cechami pędów (czyli statystykami ich liści). Związki morfotypów

ze zmiennymi biometrycznymi nie są zbyt silne (patrz Tab. 15), szczególnie dla morfotypów AB, są jednak wyraźne. W przypadku morfotypów młodych pędów wśród najwyżej skorelowanych zmiennych przeważają cechy związane z wymiarami bezwzględными liści długopędowych. Cechy liści cierniowych są niżej skorelowane i większą rolę grają u nich cechy fraktalne. Dla morfotypów starszych pędów (AC) dominują cechy liści krótkopędowych, cechy liści długopędowych są znacznie mniej skorelowane, choć i tak w wartościach bezwzględnych wyżej niż w wypadku morfotypów pędów młodych (AB).

Sposób, w jaki korelacje przekładają się na własności pędów, dodatkowo unaocznia porównanie rozkładów przykładowych statystyk liści dla poszczególnych klas (patrz Ryc. 27, Ryc. 28, Ryc. 29). Statystyki dla cech wielkości takich jak długość blaszki liści długopędowych (A: BL_L) czy szerokość blaszki liści krótkopędowych (B: BL_W) dają zakresy, które nie pokrywają się w poszczególnych klasach, ale nie są całkowicie rozłączne – tj. razem pokrywają cały zakres zmienności. Podobnie zachowują się statystyki pędowe dla tych cech fraktalnych, które dawały się obliczyć dla większości liści (CR0_1 czy CR0_3). Dla cech fraktalnych obliczonych tylko dla dużych liści zakresy mają pewne nieciągłości, ale należy to raczej tłumaczyć relatywnie mniejszą próbą. Np. średnia wymiaru korelacyjnego w zakresie do od 0 do 2 cm dla liści długopędowych starszych pędów (A:MnCR4_2 w kolumnie Morfotypy AC Tab. 15) mogła być policzona dla mniej niż połowy klasyfikowanych pędów (N=141). Ponadto podobieństwa zakresów dla poszczególnych klas występujące dla jednych cech nie pokrywają się z podobieństwami w innych cechach. Np. pod względem cech fraktalnych do klasy AB1 4 najbardziej podobna jest klasa AB1 3 (patrz Ryc. 28), ale pod względem długości blaszki liści długopędowych są inne, bardziej podobne klasy (AB9 czy AB1 6).



Ryc. 27. Porównanie rozkładów wartości przykładowych statystyk klasycznych cech biometrycznych liści młodych pędów. Punkty oznaczają położenie mediany wartości statystyki, prostokąty ograniczają zakres 25 do 75%, zaś odcinek minimum i maksimum; obie wartości z pominięciem wartości odstających⁵⁴ zaznaczonych na wykresie osobnymi punktami. Objasnienie skrótów patrz Tab. 15.

⁵⁴ *Outliers*. Na wykresach pudełkowych wykonywanych przez program STATISTICA, wartość w danych jest uznawana za wartość odstającą jeśli spełniony jest następujący warunek:

$$\text{wartość} > \text{LG} + w \cdot (\text{LG} - \text{LD})$$

lub

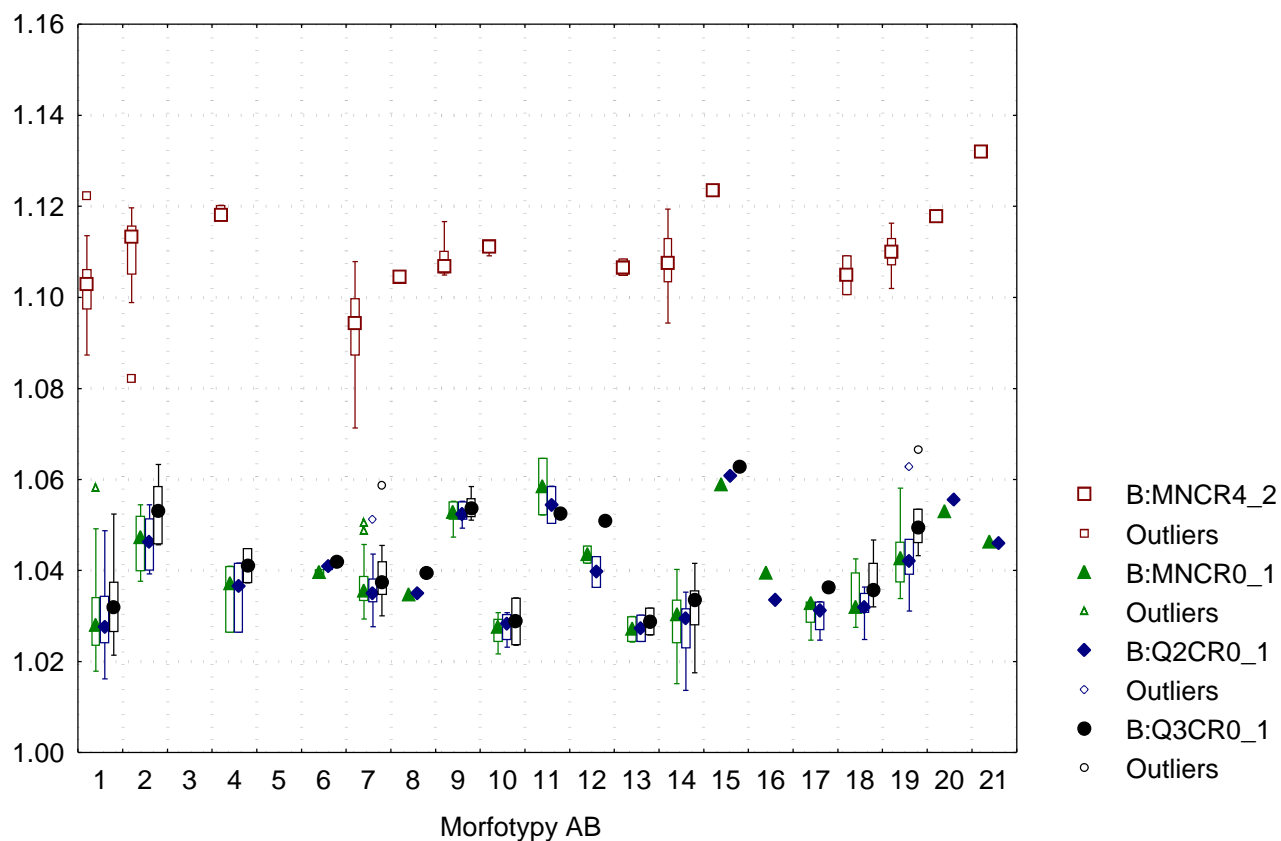
$$\text{wartość} < \text{LD} - w \cdot (\text{LG} - \text{LD})$$

gdzie:

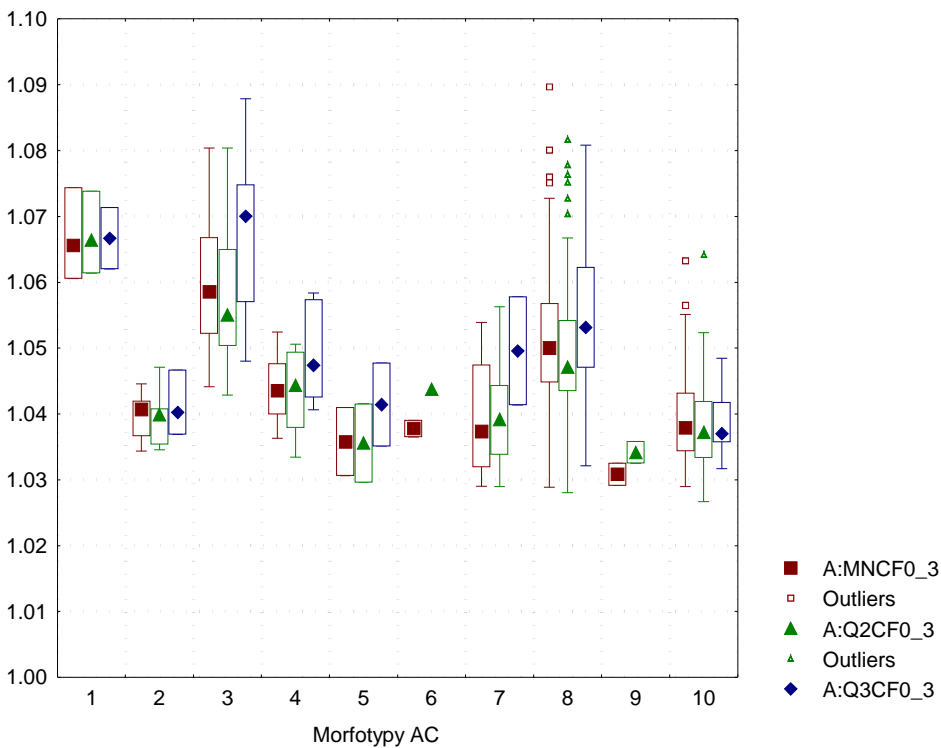
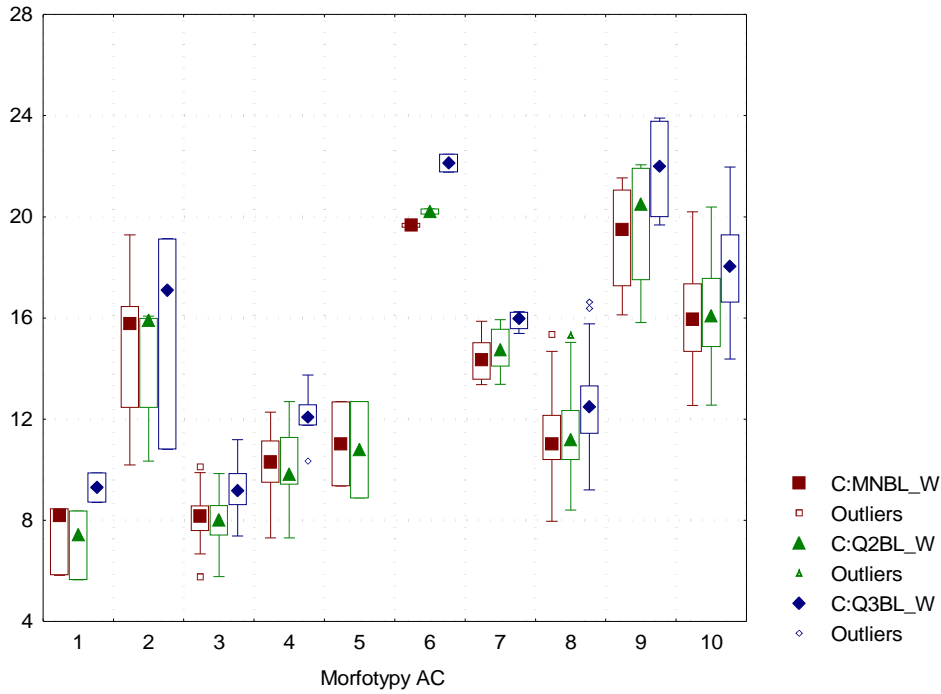
LG - wartość górnego ograniczenia „pudełka” na wykresie pudełkowym (np. średnia + błąd standardowy lub 75 centyl - procent).

LD - wartość dolnego ograniczenia „pudełka” na wykresie pudełkowym (np. średnia - błąd standardowy lub 25 centyl - procent).

w - współczynnik wartości odstających (domyślnie wynoszący 1.5)



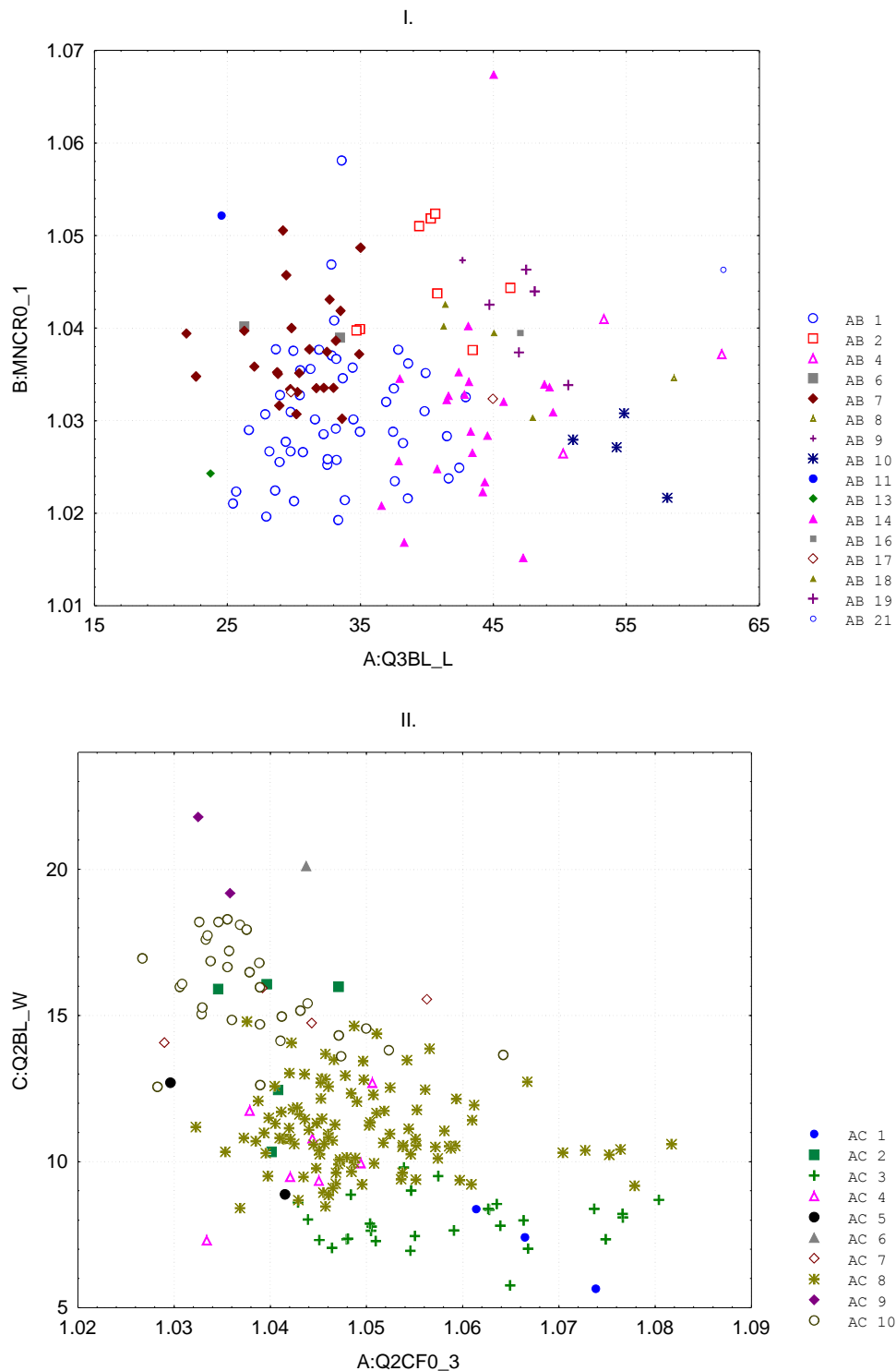
Ryc. 28. Porównanie rozkładów wartości przykładowych statystyk cech fraktalnych liści młodych pędów. Punkty oznaczają położenie mediany wartości statystyki, prostokąty ograniczają zakres 25 do 75%, zaś odcinek minimum i maksimum; obie wartości z pominięciem wartości odstających zaznaczonych na wykresie osobnymi punktami. Objasnienie skrótów patrz Tab. 15.



Ryc. 29. Porównanie rozkładów wartości przykładowych statystyk cech liści starszych pędów. Punkty oznaczają położenie mediany wartości statystyki, prostokąty ograniczają zakres 25 do 75%, zaś odcinek minimum i maksimum; obie wartości z pominięciem wartości odstających (*outliers*) zaznaczonych osobnymi punktami. Objasnienie skrótów patrz Tab. 15.

Wynik ten wskazuje, że choć klasy zostały wyróżnione⁵⁵, to jednak nie odzwierciedlają faktycznych nieciągłości morfologicznych w zbiorze okazów. Morfotypy te są raczej fragmentami zbioru o zmienności ciągłej, choć rzeczywiście dosyć szerokiej. Jeszcze lepiej uwidacznia to dwuwymiarowy rozkład punktów reprezentujących okazy, gdy na osiach są wybrane dwie zmienne mocno skorelowane z klasyfikacją, a słabiej ze sobą (Ryc. 30). Co prawda rozdział klas jest daleki od doskonałego, ale też nie może być inny skoro wyodrębnienia klas dokonano na podstawie ilości zmiennych większej o dwa rzędy wielkości. Zaskakuje raczej, że jest aż tak dokładny. Powyższe wyniki są też w zgodzie z omawianymi wcześniej histogramami niektórych cech liści, które, choć odbiegają od rozkładu normalnego, są jednak w zasadzie ciągłe i jednomodalne (patrz „4.1. Analiza zmiennych i związków między zmiennymi”, oraz Ryc. 37, Ryc. 38, Ryc. 39, Ryc. 40 w „Dodatku A”).

⁵⁵ Niehierarchiczne skupianie (klasteryzacja) za pomocą algorytmu genetycznego, jak zresztą większość algorytmów skupiania, jest czułe na wszelkie, nawet drobne nieciągłości w rozkładzie obiektów. Algorytm genetyczny gwarantuje jedynie, że układ klas będzie zoptymalizowany dla danego zestawu odległości między obiektami. Jeśli w odległościach tych brakuje dużych nieciągłości, klasy zostaną wyróżnione na podstawie drobniejszych, gdyby zbiór był nawet idealnie ciągły to algorytm wyróżniłby przynajmniej dwie klasy. Pod tym względem algorytm ten przypomina postępowanie badacza – systematyka, który im dłużej bada dany materiał, tym więcej widzi różnicujących szczegółów.



Ryc. 30. Wykres rozrzutu dla okazów młodych (I.) i starych (II.) pędów uzyskany z użyciem wysoko skorelowanych z morfotypami zmiennych wielkości oraz fraktalnych (B:MNCRO₁, A:Q3BL_L, C:Q2BL_W, A:Q2CF0₃ - zasadę tworzenia nazw statystyk cech wyjaśniono w podpisie pod Tab. 15). Na wykresie I. brak niektórych mniej licznych klas, ponieważ użyto cechy liści cierniowych, których nie było na niektórych okazach.

4.3.4. Analiza czynnikowa

Duże liczba zmiennych biometrycznych opisujących liście tarniny oraz silne korelacje pomiędzy niektórymi z nich wskazywały na celowość wykonania analizy czynnikowej, która daje szansę na wykrycia mniejszej liczby „ukrytych czynników tłumaczących”. Ponadto analiza taka daje możliwość obejrzenia wzajemnych relacji pomiędzy poszczególnymi obiektami zbioru danych.

Analizę czynnikową (*Principal Component Analysis*) wykonano równolegle dla młodych i starych pędów. Posłużono się średnimi wartościami cech oraz wartościami trzecich kwartyli odpowiednio dla liści długopędowych i cierniowych (AB) oraz dla liści długopędowych i krótkopędowych (AC). W sumie stanowiło to 89 cech. Ze względu na brak wartości w połowie użytych zmiennych⁵⁶ wykluczono z analizy pędy opisane wyłącznie przez cechy liści długopędowych (pędy A) lub wyłącznie krótkopędowych (typ C). Do obu analiz dołączono natomiast pędy pośrednie (ABC), które są porównywalne zarówno z młodymi jak i starymi pędami.

W obu wypadkach wykonano analizę czynnikową ograniczoną do 3 najsilniejszych czynników, ale okazało się że faktycznie istnieje tylko jeden dobrze wyznaczony czynnik, a już drugi jest znacznie słabszy. Pierwszy czynnik był mocno skorelowany przede wszystkim ze zmiennymi wielkości, oraz z częścią zmiennych fraktalnych (patrz Tab. 26 w dodatku). Drugi wyróżniany czynnik był skorelowany ze zmiennymi kształtu (kąty i stosunki) i innymi zmiennymi fraktalnymi. Jednak liczba zmiennych wysoko skorelowanych z tym czynnikiem była wyraźnie mniejsza niż dla czynnika pierwszego.

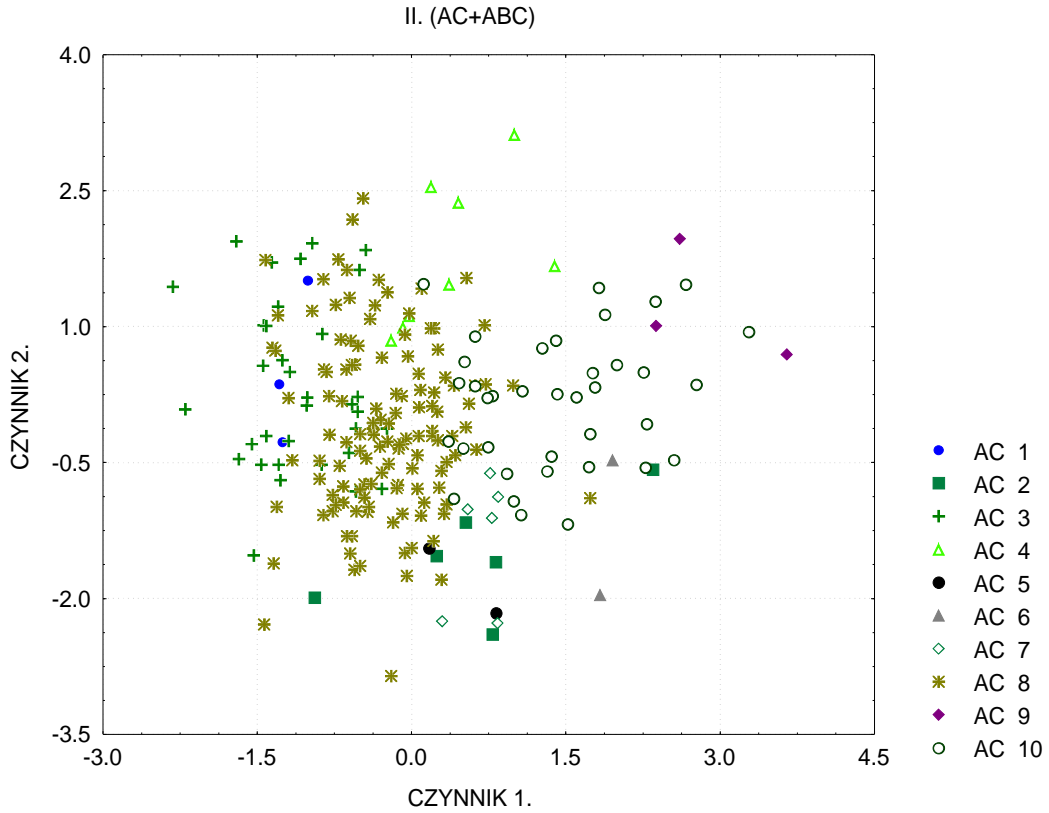
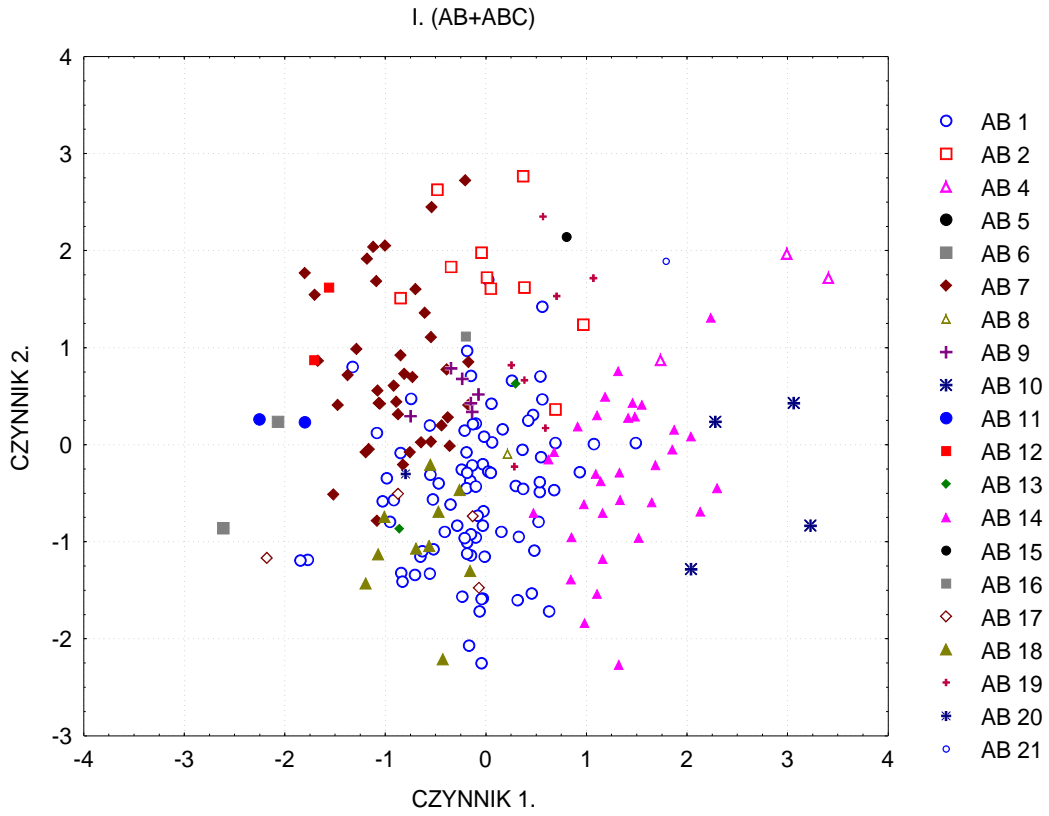
Dla trzeciego czynnika dysproporcja pomiędzy liczbą zmiennych wysoko skorelowanych z czynnikiem pierwszym oraz z czynnikiem drugim, a trzecim była jeszcze wyraźniejsza. Zarówno dla młodych jak i dla starszych pędów czynnik trzeci miał jedynie dwie zmienne skorelowane wyżej niż na poziomie 0.7, podczas gdy pierwszy miał takich zmiennych nawet 14 (pędy AC).

Rozmieszczenie pędów w układzie współrzędnych wyznaczonym przez dwa czynniki (Ryc. 31) wskazuje, że wszystkie badane okazy tworzą continuum zmienności. Morfotypy wyróżnione wcześniej za pomocą

algorytmu genetycznego stanowią prawie rozłączne, ale stykające się obszary w jego obrębie.

Ryc. 31. (Następna strona) Rozmieszczenie poszczególnych morfotypów i okazów w przestrzeni wyznaczonej przez dwa czynniki uzyskane za pomocą PCA wykonanej na średnich wartościach cech liści oraz wartościach trzecich kwartyli cech liści.

⁵⁶ Na co analiza czynnikowa jest nieodporna.

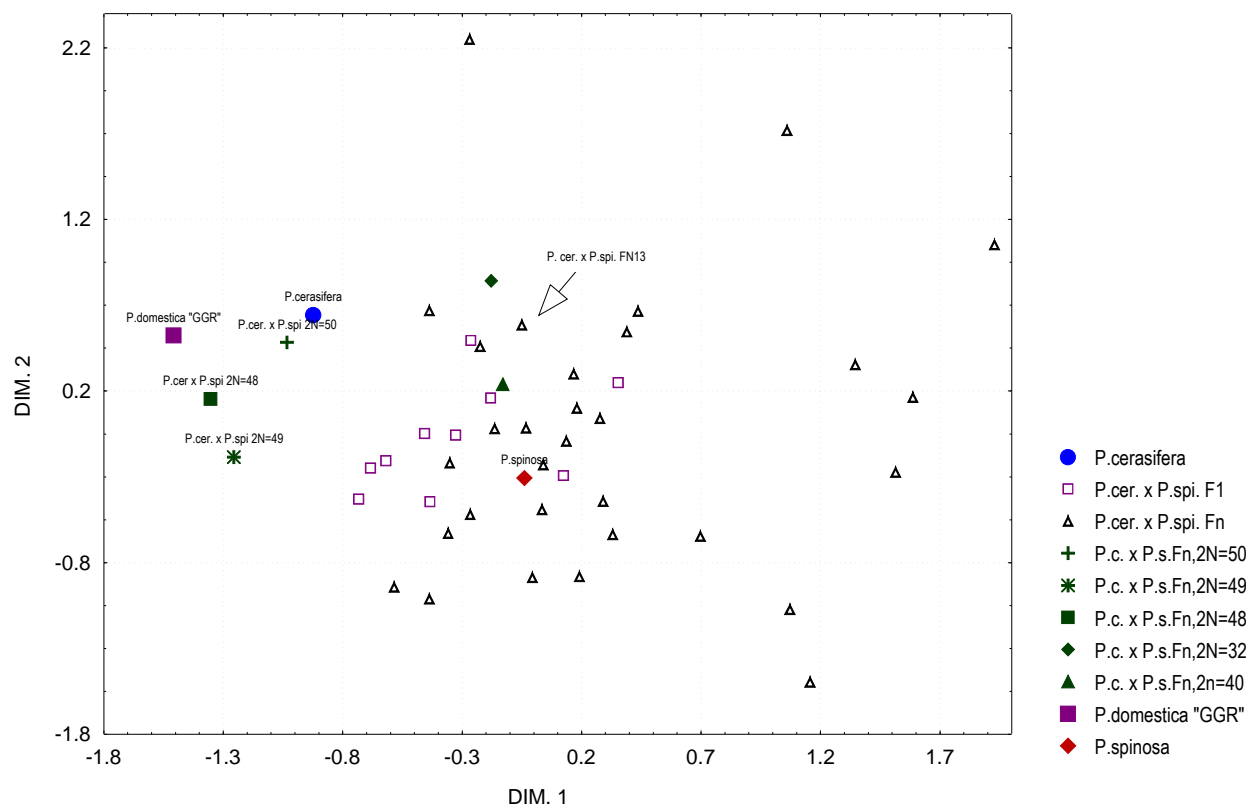


4.4. Odniesienie morfotypów *Prunus spinosa* do innych gatunków i odmian śliw

Rozkład zmienności cech morfometrycznych stwierdzony w badanej populacji jest ciągły. Może to wskazywać że *Prunus spinosa* L., przynajmniej na terenie Polski, jest dobrym gatunkiem, który nie poddaje się dalszemu, naturalnemu podziałowi. Nie wyklucza to jednak możliwości, że w zmienności tej kryje się większy lub mniejszy udział mieszańców tarniny z innymi gatunkami śliw. W rodzinie *Rosaceae* tworzenie krzyżówek między blisko spokrewnionymi gatunkami jest dosyć łatwe nawet jeśli liczby chromosomów bardzo się różnią. Możliwe jest więc, że populacja tarniny „zanieczyszczona” jest znaczną liczbą mieszańców F1 (w pierwszym pokoleniu), lub też, że wśród mieszańców mogą dominować krzyżówki wsteczne z pewnym procentem obcych genów (formy introgresywne).

4.4.1. Morfometryczna analiza liści sztucznych mieszańców

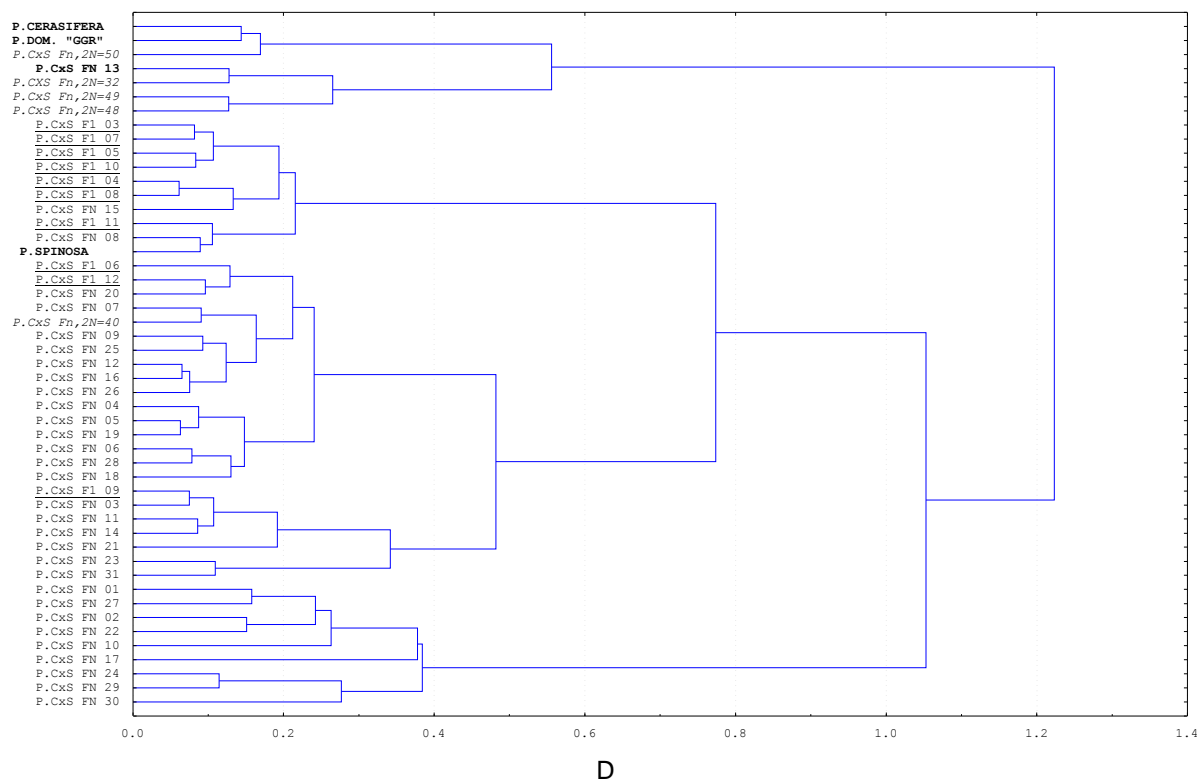
W celu zbadania, jak mogą wyglądać liście naturalnych mieszańców tarniny, posłużono się artykułem opisującym sztucznie krzyżowanie *Prunus cerasifera* z *Prunus spinosa* (ENDLICH, MURAWSKI 1962). W artykule tym zostały opublikowane zdjęcia liści bezpośrednich mieszańców oraz ich potomstwa. Zdjęcia te nie miały wystarczającej rozdzielczości by można je było porównać z liśćmi *Prunus spinosa* L. zebranymi w naturze, ale były porównywalne między sobą.



Ryc. 32. Wynik skalowania wielowymiarowego (dla 2 wymiarów), wykonanego na podstawie macierzy normalizowanej odległości miejskiej z cech biometrycznych, przedstawiający wzajemne relacje liści trzech gatunków śliw i mieszańców opisanych w ENDLICH, MURAWSKI (1962). P.c. x P.s. = *Prunus cerasifera* x *Prunus spinosa*, F1 - pierwsze pokolenie mieszańców, Fn.-następne pokolenia, 2N – diploidalna liczba chromosomów.

Obrazy liści uzyskane ze zdjęć zostały opisane w takich samych zmiennych jak liście zbierane z natury, następnie obliczono dla nich macierz normalizowanej odległości miejskiej i na jej podstawie wykonano skalowanie wielowymiarowe (Ryc. 32) oraz skupianie hierarchiczną metodą WARDA (Ryc. 33).

Analiza ta wykazuje, że o ile liście mieszańców pokolenia F1 można jeszcze uznać za pośrednie między gatunkami macierzystymi, choć bardziej podobne do *P. spinosa*, o tyle potomstwo pokolenia F1 wykazuje bardzo znaczne rozszczępienie cech – większość tych liści lokuje się w pobliżu liścia *P. spinosa*, część jest bardzo odległa zarówno od gatunków macierzystych jak i od *Prunus domestica* (w tym wypadku liść zielonej renklody- *grosse grüne Renklode*), a tylko bardzo nieliczne są podobne do liści *P. cerasifera* i *P. domestica*.

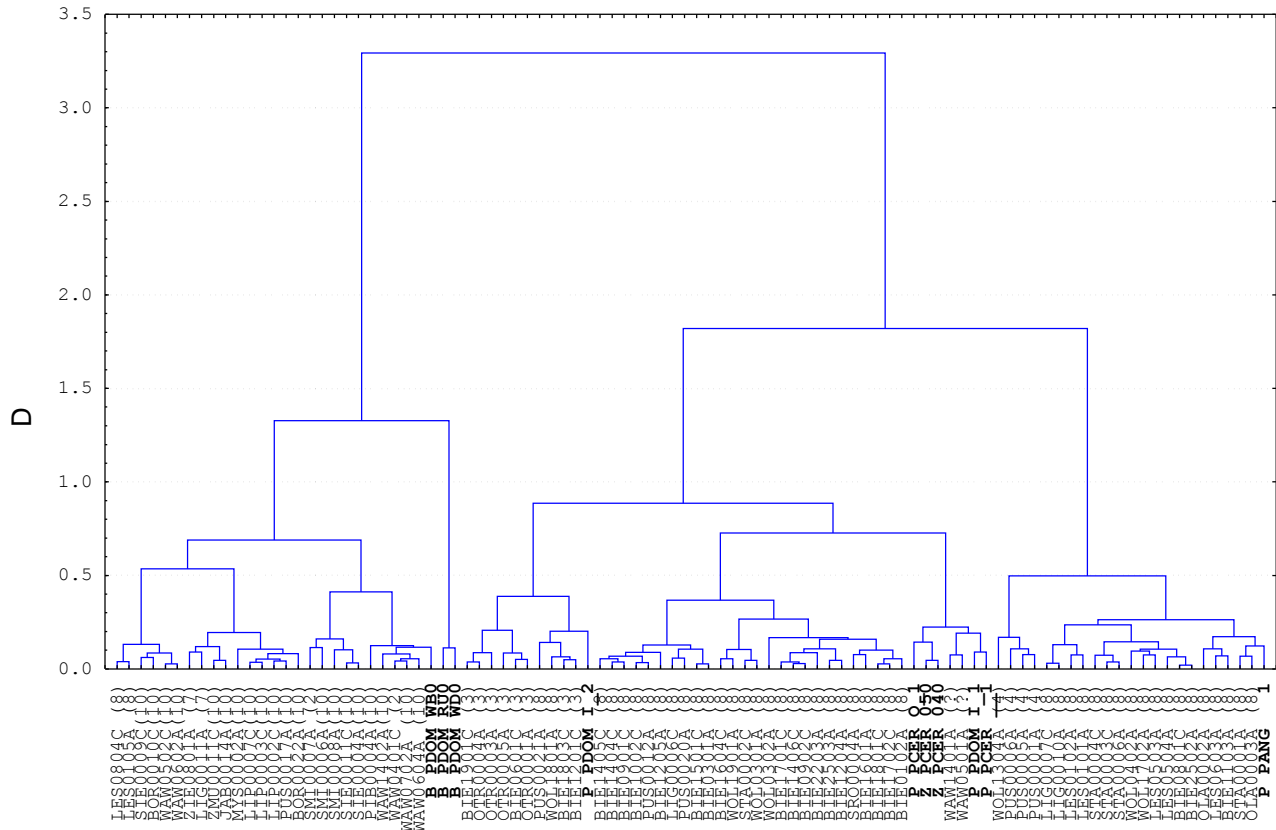


Ryc. 33. Dendrogram wykonany metodą Warda na podstawie macierzy normalizowanej odległości miejskiej z cech biometrycznych przedstawiający wzajemne relacje liści trzech gatunków śliw i mieszańców przedstawionych w artykule (ENDLICH, MURAWSKI 1962). D – wartości odległości.

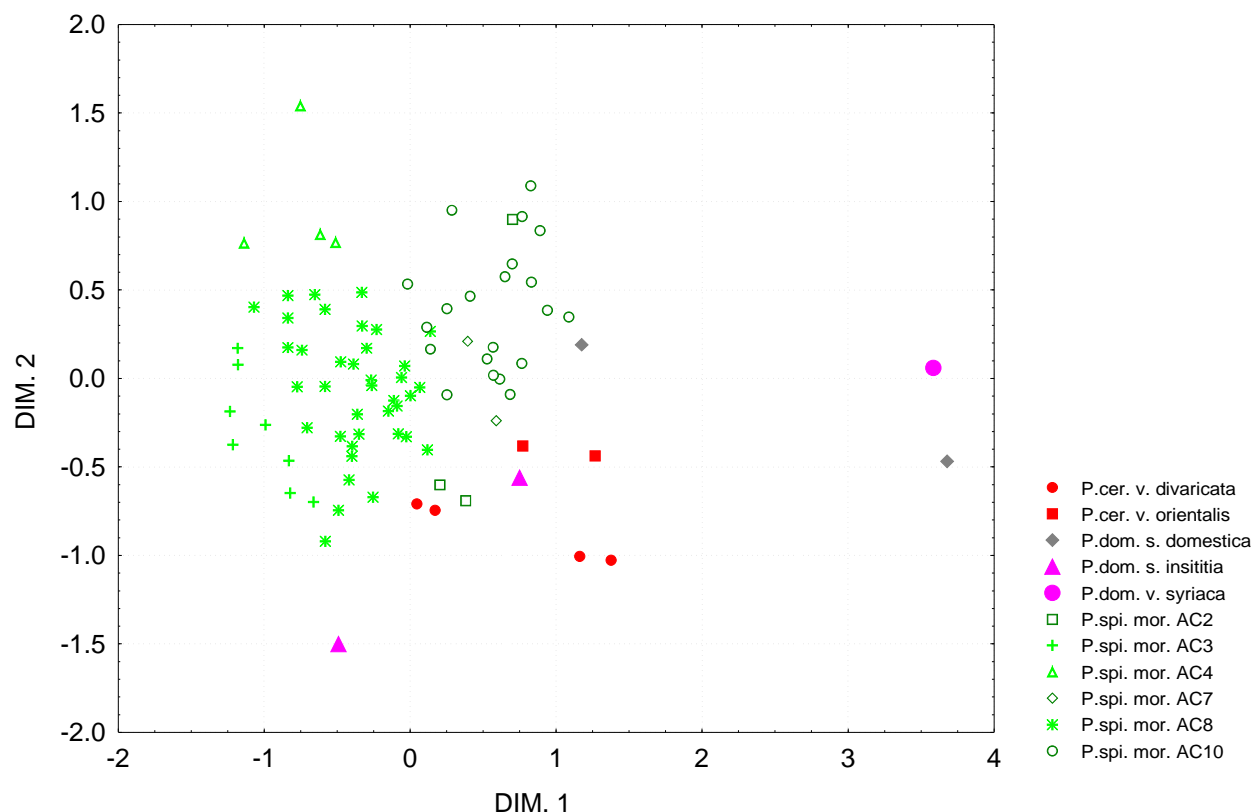
4.4.2. Analiza porównawcza okazów tarniny i okazów innych śliw

Mając do dyspozycji 48 okazów porównawczych z rodzaju *Prunus* wykonano ich charakterystyki w sposób analogiczny i porównywalny z okazami *Prunus spinosa*.

Dla okazów tych wykonano skalowanie wielowymiarowe (patrz Ryc. 41 w części „Dodatek A”), a następnie wybrano kilka z nich opisanych cechami liści długo i krótkopędowych i dołączono jako punkty odniesienia do wylosowanych 86 starszych okazów tarniny (dane dla morfotypów AC). Dla tak utworzonego zbioru obliczono macierz normalizowanej odległości miejskiej i na jej podstawie wykonano analizę skupień metodą Warda (Ryc. 34) oraz skalowanie wielowymiarowe. Dla celów procedury skalowania wielowymiarowego liczbę okazów zmniejszono do 90 ze względu na ograniczenie na liczbę obiektów występujące w zastosowanym programie.



Ryc. 34. Dendrogram wykonany metodą Warda dla mieszanego zbioru wylosowanych okazów *Prunus spinosa* i reprezentantów innych taksonów rodzaju *Prunus*. Użyto macierzy normalizowanej odległości miejskiej (oś D) obliczonej na podstawie średnich oraz drugiego i trzeciego kwartyla cech biometrycznych liści długo- i krótkopędowych. Obiekty: „B PDOM xxx” - różne okazy *P. domestica* z Brzeźnej, „P PDOM I_x” - *P. domestica* subsp. *insititia* z Powsina, „P PCER xx” - *P. cerasifera* z Powsina, „Z PCER xxx” - *P. cerasifera* z Zagórze, „P PANG” - *P. angustifolia* z Powsina. Pozostałe obiekty są okazami *P. spinosa* z różnych stanowisk. Pierwsze trzy litery nazwy stanowią kod stanowiska (patrz wkładka), cyfry kod okazu, ostatnia litera rodzaj okazu (A - okaz długopędowo-krótkopędowy (AC), C-okaz krótkopędowy (b. stary). W nawiasach numery morfotypów.



Ryc. 35. Wynik skalowania wielowymiarowego (dla 2 wymiarów) mieszanego zbioru zawierającego wylosowane starsze okazy *Prunus spinosa* (AC) oraz kilka okazów reprezentujących inne taksony rodzaju *Prunus* (v.=*varietas*, s.=*subspecies*). Użyto macierzy normalizowanej odległości miejskiej obliczonej na podstawie średnich oraz drugiego i trzeciego kwartyla cech biometrycznych liści długo- i krótkopędowych. „mor. ACxx” = morfotyp starszych pędów nr xx. (por. Ryc. 42 str. 185)

Wyniki hierarchicznej analizy skupień wydają się mało zrozumiałe dopóki nie uwzględni się sposobu w jaki działa ta metoda i nie zestawili się ich z wynikami skalowania (Ryc. 35, porównaj też Ryc. 42 w części „Dodatek A”). Widać że analiza skupień pokazuje generalnie ten sam obraz, tyle że w sposób dla człowieka nieintuicyjny. Podobnie jak w wypadku PCA, choć znacznie wyraźniej (por. Ryc. 31), wynik skalowania (Ryc. 35) pokazuje, że *P. spinosa* tworzy raczej continuum zmienności. Morfotypy wyróżnione za pomocą algorytmu genetycznego są tu tożsame z niezachodzącymi na siebie podgrupami (czy podobszarami) w obrębie kontinuum. Klasy AC2, AC3 i AC4 obejmują okazy ze skrajnego obszaru, zaś granica między resztą klas a klasami AC10 i AC7, uznanymi

wcześniej za wyróżniające tzw. alternatywną grupę stanowisk (por. Ryc. 17 i Ryc. 26), rozbija kontinuum na dwie połowy. Jedna odpowiada dominującemu morfotypowi AC8 i podobnym, druga zaś odpowiada alternatywnemu morfotypowi AC10 i jemu podobnym.

Inne taksony śliw lokują się względem okazów tarniny w sposób niejednoznaczny. Za wyjątkiem dwu z trzech typowych „szlachetnych” kultywarów, które są wyraźnie bardzo odległe, pozostałe lokują się w pobliżu grupy *P. spinosa* i to w prawie równej odległości od obu jej głównych podgrup. Miesza się z nimi jedynie jedna mała podgrupa *P. spinosa* - klasa AC2 reprezentowana przez dwa okazy z Góry św. Wawrzyńca.

4.5. Wpływ czynników abiotycznych na cechy morfologiczne

Ustalenie zakresu zmienności z obrębie *Prunus spinosa* daje szansę ustalenia czynników, które o niej decydują. Jednym z możliwych wyjaśnień mogą być różnorodne czynniki klimatyczne decydujące o „jakości życia” rośliny. Mogą one wpływać na morfologię rośliny poprzez dwa niezależne mechanizmy. Może to być wpływ bezpośredni zmieniający konkretny okaz w ramach jego osobniczej plastyczności oraz wpływ pośredni polegający na selekcji takich genotypów, których zakres plastyczności lepiej odpowiada wymaganiom środowiska.

Pierwszy mechanizm działa bardzo lokalnie zarówno jeśli chodzi o miejsce życia osobnika ograniczone do najwyżej kilkunastu metrów kwadratowych⁵⁷, jak i o czas jakim jest historia życia pojedynczego okazu. Sposób zbierania materiałów do tej pracy wyklucza więc zbadanie tego rodzaju wpływu i może być on traktowany jedynie jako zakłócenie i to znaczące.

Drugi mechanizm działa znacznie bardziej „globalnie”. Dla roślin owadopylnych, do jakich zalicza się tarninę, zasięg bezpośredniej wymiany genów (poprzez pyłek) wynosi przynajmniej setki metrów. Ponadto owoce tarniny są zjadane przez ptaki co daje szansę na wymianę genów pomiędzy populacjami odległymi nawet o dziesiątki kilometrów. Również skala czasu tego zjawiska jest nieporównanie szersza – bowiem mierzona w pokoleniach, a jedno pokolenie dla tarniny oznaczać musi co najmniej kilka lat koniecznych by młody krzew stał się zdolny do wydania owoców. Do zbadania tego rodzaju wpływu można posłużyć się ogólnie dostępnymi danymi klimatycznymi (por. „2.5. Cechy klimatyczne stanowisk” - strona 55) mimo że nie są one zbyt dokładne.

4.5.1. Czynniki abiotyczne stanowisk, a wartości cech biometrycznych

Zbadano korelację pomiędzy cechami abiotycznymi stanowisk a statystykami Q1, Q2, Q3, Min i Max cech biometrycznych lokalnych populacji *P. spinosa*.

⁵⁷ Np. w górach odległość kilkunastu metrów w linii prostej pomiędzy osobnikami może spowodować że jeden z nich rośnie na dobrej glebie, drugi na kamienistej, jeden będzie bardziej narażonym na przymrozki, drugi mniej, jeden otrzyma rocznie więcej wody niż drugi itd. Tym bardziej różnią się warunki na dwóch przeciwległych stokach tej samej góry.

Stwierdzono że występujące korelacje dla poszczególnych statystyk tej samej cechy są w większości przypadków zgodne.

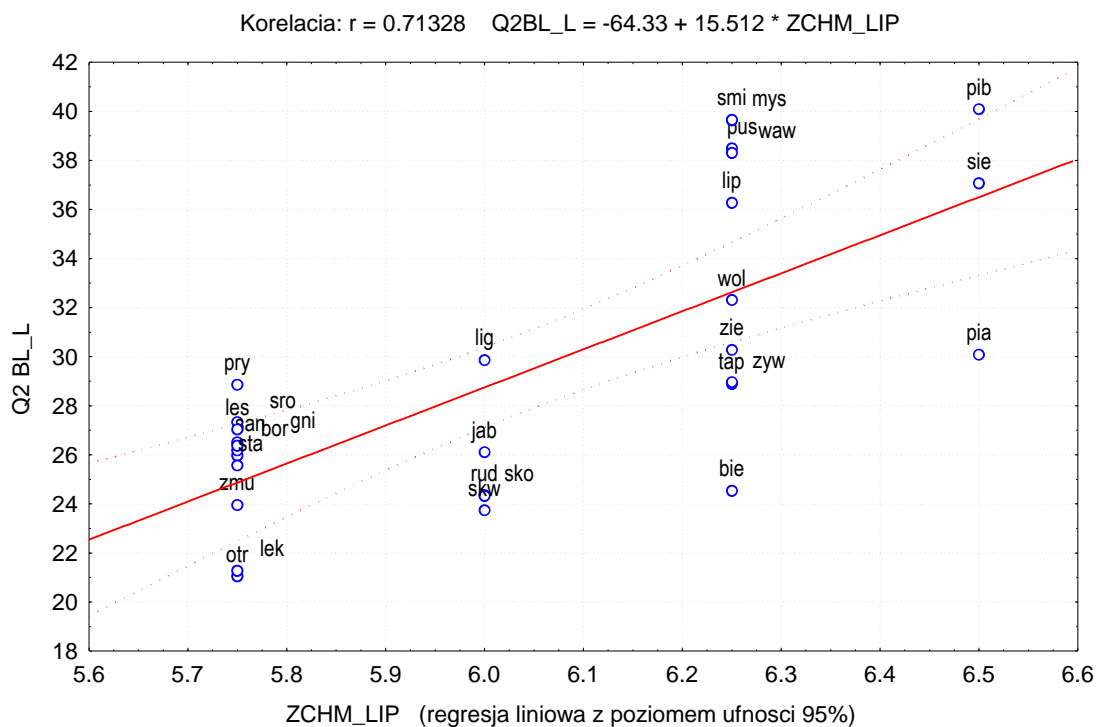
Tab. 16. Korelacje pomiędzy medianami cech biometrycznych lokalnych populacji *P. spinosa* a cechami klimatycznymi stanowisk z terenu Polski. Na szarym tle korelacje znaczące na poziomie co najmniej 0.05. Wyróżniono korelacje o wartości bezwzględnej większej niż 0.5. Porządek cech ustalony za pomocą grupowania algorytmem genetycznym na podstawie odległości korelacyjnych (por. Tab. 27 w „Dodatku A” na str. 186).

ZMIENNA	DNI_IMROZNE	DNI_SNIE	IZAMPLITUdy	Meiry NPM	OPADY_ROK	WSCH_ZCH	PD_PN_	ZCHM_LIP	ZCHM_ROK	ZCHM_STY	USLONECZ.	DNI_CIEP	IZOT_LIP	IZOT_ROK	IZOT_STY	OKR_WEG
BR_L	-0.38	-0.33	-0.45	-0.31	-0.23	-0.48	0.22	0.43	0.21	0.01	-0.47	0.06	-0.04	0.26	0.44	0.25
BR_LDW	-0.48	-0.45	-0.52	-0.48	-0.31	-0.54	0.53	0.46	0.14	0.06	-0.24	0.11	0.03	0.28	0.52	0.25
BR_W	0.12	0.27	-0.08	0.41	0.3	-0.01	-0.42	0	0.05	-0.29	-0.54	-0.24	-0.37	-0.06	-0.09	-0.07
PT_W	-0.11	-0.02	-0.21	-0.19	-0.2	-0.13	-0.13	0.4	0.39	0.16	-0.25	-0.01	0.01	0.13	0.17	0.09
AREA	-0.22	-0.25	-0.24	-0.35	-0.31	-0.33	0.13	0.7	0.68	0.16	-0.43	0.24	0.09	0.2	0.26	0.26
BL_L	-0.27	-0.32	-0.26	-0.39	-0.35	-0.36	0.08	0.71	0.66	0.15	-0.42	0.28	0.11	0.25	0.31	0.3
BL_N	-0.24	-0.33	-0.22	-0.42	-0.39	-0.32	0.11	0.7	0.62	0.17	-0.35	0.28	0.11	0.26	0.29	0.3
BL_P	-0.22	-0.3	-0.22	-0.38	-0.34	-0.33	0.12	0.69	0.63	0.16	-0.4	0.26	0.1	0.21	0.27	0.28
BL_W	-0.22	-0.22	-0.29	-0.31	-0.26	-0.37	0.18	0.68	0.64	0.08	-0.47	0.2	0.07	0.2	0.28	0.29
PT_L	-0.18	-0.21	-0.21	-0.32	-0.26	-0.21	-0.1	0.62	0.46	0.12	-0.37	0.18	0.04	0.22	0.21	0.24
ANGLT_	0.29	0.15	0.24	0.12	-0.04	0.26	0.02	-0.28	-0.09	0.01	0.17	0.01	-0.16	0	-0.21	-0.16
ANGRT_	0.27	0.09	0.23	0.03	-0.11	0.25	0.01	-0.11	-0.04	0.1	0.2	0.06	-0.09	-0.03	-0.21	-0.17
BL_NDL	0.06	-0.12	0.16	-0.07	-0.18	0.14	0.03	0.1	-0.01	0.04	0.12	0.14	-0.06	0.16	-0.03	0.05
CR4_2	-0.09	-0.36	-0.01	-0.48	-0.5	-0.15	0.03	0.43	0.33	0.24	0.11	0.28	0.27	0.08	0.15	0.19
CR4_3	-0.19	-0.14	-0.1	-0.14	-0.01	-0.2	0.41	0.29	-0.07	0.02	-0.28	0.25	0.13	0.09	0.13	0.1
CF0_1_	0.3	-0.03	0.33	-0.16	-0.07	0.22	0.33	0	-0.02	0.19	0.15	0.03	0.09	-0.32	-0.28	-0.15
CR0_1_	0.17	-0.12	0.25	-0.12	-0.06	0.11	0.19	0.04	-0.06	0.02	0.08	0.07	-0.03	-0.16	-0.18	-0.06
CF0_4_	0.18	0.13	0.25	0.29	0.24	0.29	-0.21	-0.63	-0.56	-0.18	0.38	-0.15	-0.05	-0.2	-0.23	-0.2
CF4_1_	0.2	0.12	0.28	0.26	0.21	0.29	-0.16	-0.62	-0.56	-0.17	0.42	-0.13	-0.03	-0.22	-0.24	-0.19
CF0_2_	0.26	0.13	0.32	0.19	0.21	0.3	0.06	-0.46	-0.43	0.01	0.35	-0.13	-0.01	-0.3	-0.32	-0.29
CF0_3_	0.26	0.23	0.34	0.33	0.29	0.37	-0.14	-0.61	-0.53	-0.09	0.39	-0.19	-0.08	-0.26	-0.34	-0.32
CR0_2_	0.17	0.01	0.33	0.16	0.16	0.26	0	-0.32	-0.35	-0.08	0.28	-0.04	-0.09	-0.16	-0.26	-0.21
CR0_3_	0.2	0.12	0.35	0.26	0.21	0.36	-0.15	-0.51	-0.44	-0.04	0.39	-0.08	-0.08	-0.18	-0.31	-0.28
CR0_4_	0.21	0.13	0.35	0.28	0.21	0.38	-0.18	-0.65	-0.61	-0.07	0.48	-0.14	-0.05	-0.17	-0.28	-0.27
CR4_1_	0.22	0.14	0.35	0.29	0.23	0.38	-0.19	-0.64	-0.61	-0.08	0.45	-0.14	-0.09	-0.18	-0.3	-0.28
ANGLB_	0.15	0.29	-0.01	0.14	0.19	0.06	-0.12	-0.1	0.1	0.04	-0.09	-0.19	-0.05	-0.28	-0.17	-0.23
ANGRB_	0.06	0.28	-0.13	0.25	0.28	-0.06	-0.11	-0.11	0.13	-0.06	-0.22	-0.18	-0.08	-0.22	-0.09	-0.17
CF4_2_	-0.45	-0.12	-0.53	0.24	0.21	-0.42	-0.34	-0.13	-0.06	-0.43	0.3	-0.2	-0.01	0.17	0.39	0.26
BL_LDW	-0.12	-0.21	0.1	-0.1	-0.15	0.02	-0.26	0.04	0.03	0.15	0.14	0.11	0.08	0.07	0.03	0.02
BL_PDW	0.05	-0.16	0.23	-0.12	-0.16	0.13	-0.22	0.04	0.01	0.24	0.17	0.08	0.07	-0.07	-0.12	-0.04

Analizując szczegółowo tabelę korelacji median cech biometrycznych z cechami klimatycznymi można dostrzec wiele interesujących zależności. Przede wszystkim zwraca uwagę zależność cech wielkości blaszki liściowej oraz wielu cech

fraktalnych od takich cech klimatu jak średnie zachmurzenie czy średnie „usłonecznienie” oraz takich cech jak długość pędu i współczynnik wydłużenia pędu (BR_L i BR_LDŹ) od licznych cech klimatycznych.

Trudno oczywiście tego typu korelacje traktować jako pewne, szczególnie, jeśli weźmie się pod uwagę dużą niedokładność użytych tutaj danych klimatycznych jak i specyfikę obliczeniową korelacji. Analiza wykresu rozrzutu (*scatterplot*) dla najwyżej skorelowanej zmiennej: mediany długości blaszki (BL_L) i średniego zachmurzenia w lipcu (ZCHM_LIP) wskazuje na konieczną ostrożność w interpretacji.



Jak widać w Tab. 17 wartości korelacji nie są wysokie, nie przekraczają bowiem wartości 0.27. Potwierdza się jednak znaczenie cech klimatu związanych z zachmurzeniem (por. Tab. 16), a dodatkowo zwracają uwagę takie cechy jak opady czy wysokość nad poziomem morza, które dla stanowisk miały ogólnie niewystarczający poziom ufności.

Wyniki te, choć nie mogą być do końca wiążące ze względu na niedokładność danych, mogą stanowić interesującą przesłankę do dalszych badań.

Tab. 17. Korelacje Tau Kendall'a pomiędzy przynależnością okazu do określonego morfotypu, a cechami klimatu stanowiska, w porządku malejącej wartości bezwzględnej.

Para zmiennych	N	Tau	Z	p-level
Klasy AC & ZCHM_ROK	317	0.2743179202	7.285899639	3.19531E-13
Klasy AC & OPADY_RO	317	-0.2458647192	-6.530180931	6.56903E-11
Klasy AC & DNI_CIEP	317	0.2194782048	5.829353809	5.56425E-09
Klasy AC & ZCHM_LIP	317	0.2031331211	5.395227432	6.84369E-08
Klasy AC & ZCHM_STY	317	0.1874692440	4.979193687	6.38499E-07
Klasy AC & IZOT_LIP	317	0.1708766371	4.538493156	5.66577E-06
Klasy AB & ZCHM_LIP	281	0.1678232551	4.193716049	2.74422E-05
Klasy AB & MNPM	281	-0.1394435763	-3.484539747	0.000492985
Klasy AB & ZCHM_STY	281	0.1388934553	3.47079277	0.000518925
Klasy AB & ZCHM_ROK	281	0.1358449012	3.394612789	0.000687258
Klasy AB & OPADY_RO	281	-0.1257467270	-3.142270565	0.001676431
Klasy AB & DNI_CIEP	281	0.1002966240	2.506300926	0.012200177
Klasy AB & DNI_SNIE	281	-0.0988833755	-2.470985413	0.013474137
Klasy AC & USLONECZ	317	0.0981247276	2.606198311	0.009155349
Klasy AB & STRF_WEG	291	-0.0866920948	-2.205018282	0.027452823
Klasy AB & OKR_WEG	283	0.0825219899	2.069548845	0.038494624
Klasy AC & MNPM	317	-0.0796477795	-2.115449667	0.034391657
Klasy AB & IZOT_STY	281	0.0765716434	1.913440108	0.055691756
Klasy AB & IZOT_LIP	281	0.0746767148	1.866087914	0.062029082
Klasy AB & DNI_MROZ	281	-0.0661597326	-1.653258085	0.098278359
Klasy AB & USLONECZ	281	0.0571435988	1.427954912	0.15330489
Klasy AB & IZOT_ROK	281	0.0537823401	1.343960762	0.178961128
Klasy AC & OKR_WEG	317	0.0466937982	1.24018991	0.214905217
Klasy AC & IZOT_ROK	317	0.0371422768	0.986500978	0.323887348
Klasy AC & IZOT_STY	317	0.0370503552	0.984059572	0.325086266
Klasy AC & DNI_SNIE	317	-0.0282223336	-0.749586761	0.453503668
Klasy AB & IZAMPLTU	281	0.0174073894	0.43499127	0.663568735
Klasy AC & STRF_WEG	322	-0.0110241044	-0.29512614	0.767897606
Klasy AC & DNI_MROZ	317	-0.0104673970	-0.27801466	0.781001151
Klasy AC & IZAMPLTU	317	-0.0040286132	-0.107000194	0.914788783

4.6. Dyskusja podsumowująca

Poniżej zestawiono konkluzje wynikające z przedstawionych uprzednio wyników analiz i zestawiono je z postawionymi celami i wcześniejszym stanem wiedzy:

- I. Po raz pierwszy dla terenu Polski (a prawdopodobnie także pierwszy raz w ogóle) zbadany został zakres zmienności liści oraz pędów ostatniego rzędu dla populacji *Prunus spinosa* L. z terenu Polski. Stwierdzono duży zakres zmienności w większości cech morfologicznych. Wykazano też, że szeroka zmienność form liści jest w znaczącym stopniu związana z ich różnorodnym pochodzeniem (liście długopędowe, cierniowe i krótkopędowe). Dopiero wyeliminowanie wpływu tego efektu pozwala na badanie innych przyczyn zmienności („4.2.1. Analiza podziału liści wg typów pędów”, str. 98).
- II. Zbadano rozkłady poszczególnych zmiennych biometrycznych i stwierdzono, że choć w większości odbiegają one nieco od rozkładu normalnego (Ryc. 37, Ryc. 38, Ryc. 39, Ryc. 40), to zazwyczaj są jednomodalne, zatem nie sugerują podziału populacji. Ponadto stwierdzono, że próby *Prunus spinosa* L. spoza obszaru Polski mieszczą się w tym samym zakresie zmienności.
- III. Badanie lokalnych populacji na podstawie wartości średnich pokazało ich zróżnicowanie i ujawniło istnienie przynajmniej dwóch wyraźnych grup populacji lokalnych (4.2.2. Analiza podziału liści wg stanowisk). W grupach tych znajdują się jednak stanowiska nie związane geograficznie, zatem nie wskazują one na istnienie zmienności klinalnej.
- IV. Wykonano próbę wyodrębnienia z materiału naturalnych skupień (klas) na podstawie statystyk cech biometrycznych dla poszczególnych osobników („4.3. Analiza morfotypów”, str. 116). Uzyskano morfotypy, które były wewnętrznie spójne – stanowiły zwarte obszary w przestrzeni cech, ale też w sposób względnie ciągły przechodziły jedne w drugie tworząc razem jedno continuum zmienności - brak było wyraźnych rozziwów.

- V. Mimo, że nie wykryto wyraźnych gradientów zmienności tarniny w układzie geograficznym, natrafiono jednak na interesującą, choć wymagającą dokładnej weryfikacji zależność cech wielkości liści osobników (statystyk dla osobników) od dostępności światła słonecznego w siedlisku. Sprawa ta być może jest warta zbadania w przyszłości („4.5. Wpływ czynników abiotycznych na cechy morfologiczne”, str. 141).
- VI. Zestawiono morfotypy tarniny z reprezentantami innych taksonów rodzaju *Prunus*. Stwierdzono że *Prunus spinosa* L. stanowi zwartą grupę (klasę), jednak część osobników próby jest w swojej morfologii (w zakresie badanych cech) bardzo zbliżona do niektórych taksonów pokrewnych (4.4.2. Analiza porównawcza okazów tarniny i okazów innych śliw). W świetle wyników dotyczących mieszańców sztucznych (por. „4.4.1. Morfometryczna analiza liści sztucznych mieszańców”, str. 135) oraz w związku ze znaczną bliskością w przestrzeni cech (Ryc. 35, str. 139) niektórych osobników reprezentujących *P. spinosa* oraz reprezentujących *P. cerasifera* i *P. insititia* (*P. domestica* subsp. *insititia*) można jedynie stwierdzić, że wyłącznie na podstawie danych biometrycznych pozyskanych w tej pracy nie da się jednoznacznie ani wykluczyć, ani potwierdzić hipotezy introgresji. Choć możliwość występowania transferu genów między blisko spokrewnionymi taksonami podrodzaju *Euprunus* wydaje się dość prawdopodobna, jej potwierdzenie wymaga uzupełnienia danych morfologicznych danymi kariologicznymi i być może genetycznymi.

Zrealizowano zatem zarówno cel dokumentacyjny – samo zbadanie zmienności gatunku, jak cel badawczy – zweryfikowanie na podstawie zebranego materiału hipotez i teorii wcześniejszych badaczy *Prunus spinosa* L.

Uzyskane wnioski częściowo potwierdzają a częściowo obalają te przypuszczenia. Tarnina rzeczywiście jest gatunkiem o dużej zmienności morfologicznej (co sugerowano już dawno: WARLLROTH 1822, WEIHE 1826, cyt. za DOMIN 1945). Prawdopodobnie część zmienności morfologicznej gatunku związana jest wpływem

środowiska (jak sugeruje np. SZAFER, PAWŁOWSKI 1955 za HEGI 1935), nie jest też wykluczone, że za część zmienności odpowiada krzyżowanie się tarniny z gatunkami pokrewnymi (co postulowali już WARLLROTH 1822, i prawie wszyscy inni autorzy). Tu jednak trzeba zgodzić się z nowoczesnymi źródłami (TUTIN I IN. 1968; HAEUPLER, SCHÖNFELDER 1988), że na razie, na podstawie samych cech morfologicznych rozróżnienie hybryd i form czystych nie jest możliwe. Dopiero połączone badania morfometryczno-kariologiczno-genetyczne pozwoliłyby w sposób pewny zidentyfikować takie formy i potem, być może, oznaczać z użyciem samych tylko cech biometrycznych. Na podstawie przedstawionych wyników nie można natomiast zgodzić się z dotychczasowymi próbami taksonomii wewnątrzgatunkowej. Wyróżnione na podstawie cech biometrycznych morfotypy (jako zagęszczenia punktów-osobników w wielowymiarowej przestrzeni cech) w sposób ciągły przechodzą jedne w drugie. Zważywszy zarówno ciągłą postać rozkładów dla większości cech, jak i brak wyraźnie wyodrębnionych naturalnych podgrup, wydaje się pewne, że, przynajmniej dla terenu Polski, zmienność morfologiczna gatunku nie daje podstaw do wyróżniania użytecznych taksonów niższego rzędu – szczególnie tak wysokiej rangi jak podgatunki czy odmiany. Zatem różnice zdań dawnych autorów (np. ROUY DE CAMUS 1900; DOMIN 1945; a z drugiej strony np. HEGI 1935) co do ich liczby są prawdopodobnie bezprzedmiotowe.

Ponadto osiągnięto również ważne cele metodyczne:

- I. Przygotowano i przetestowano zestaw narzędzi koniecznych do przeprowadzenia kompletnej procedury automatycznej biometrii zawierający m.in. metody obiektywnego pomiaru takich cech jak złożoność liścia (MORACZEWSKI, BORKOWSKI 1997; BORKOWSKI 1999).
- II. Dopracowano i potwierdzono użyteczność nowych metod eksploracyjnej analizy danych: niehierarchicznej klasyfikacji algorytmem genetycznym (MORACZEWSKI, BORKOWSKI, KIERZEK 1995) i nieparametrycznej analizy dyskryminacyjnej (BORKOWSKI 1999). Wykazano, że dają się one znaczącym uzupełnieniem klasycznego zestawu technik analizy wielozmiennowej.

Znaczenie zastosowanego w tej pracy podejścia metodycznego do badań taksonomicznych wykracza oczywiście poza pojedynczy problem *Prunus spinosa* L. Powszechność w świecie roślin takich zjawisk jak mieszańce międzygatunkowe, rozmnażanie apomiktyczne, nietypowa organizacja materiału genetycznego na poziomie chromosomalnym, czy wreszcie wirusowe i plazmidowe wektory genetyczne (nie mówiąc już o zróżnicowanej, lecz zazwyczaj dużej plastyczności genomów) powodują, że współczesna taksonomia roślin boryka się z wieloma podobnymi problemami. Ograniczając się tylko do roślin wyższych można podać liczne przykłady takich „trudnych” rodzajów, jak *Alchemilla*, *Rosa*, *Rubus*, *Heracium*, *Taraxacum*, *Zea* itd. Badania tych rodzajów, szczególnie pozasystematyczne, są w znacznym stopniu hamowane przez niedoskonałości technik identyfikacyjnych. Podobnie jest w wypadku wielu innych taksonów, które - co prawda - są uznawane za bezsporne (prawie), ale identyfikowane dokładnie tylko przez niewielu badaczy (np. *Oenothera*). Być może także część z nich wymaga weryfikacji, a na pewno opracowania „technicznych środków identyfikacji”, na co automatyczna biometria może w już w niedalekiej przyszłości pozwolić.

BIBLIOGRAFIA

- Allkin R. Moreno N. P., Gama-Campilo L., Mejia T. 1992. Multiple uses for computer-stored taxonomic descriptions: Keys for Veracruz. *Taxon*, 41: 413-435.
- Andrearczyk J. 1971. Zmienność liści wiązu pospolitego (*Ulmus campestris* L.). *Rocznik Dendrologiczny* Vol. XXV.
- Andrearczyk J. 1979. Zmienność gatunków *Ulmus* L. występujących w Polsce. *Monographiae Botanicae*. Vol. LVII.
- Armorim de, S. G., Barthélemy J.-P., Ribeiro C. C. 1992. Clustering and Clique Partitioning: Simulated Annealing and Tabu Search Approaches. *Journal of Classification* 9: 17-41.
- Askevold I. S., O'Brien C. W. 1994. DELTA, an invaluable computer program for generation of taxonomic monographs. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 87: 1-16.
- Atkinson W. B., Gammerman A. 1987. An application of expert system technology to biological identification. *Taxon*, 36: 705-714.
- Barnett J. A., Payne R. W., Yarrow D. 1985. *Yeast Identification Program*. Cambridge University Press, Cambridge and London.
- Batko A., Moraczewski I. R. 1993. *Taxal 2. A software in numerical taxonomy. Documentation*. Warsaw. Distributed by the authors.
- Blałock H. M. 1974. *Statystyka dla socjologów*. PWN Warszawa.
- Bookstein F. L. 1992. *Morphometric tools for landmark data. Geometry and biology*. Cambridge Univ. Press, New York.
- Borkowski W. 1999. Fractal dimension based features are useful descriptors of leaf complexity and shape. *Canadian Journal of Forest Research*.
- Borkowski W. 1997, 2002© Program SCANDIX – Manual, <http://www.flora-ojczyzsta.pl/scandix.html>

- Brough D. R., Alexander I. F. 1986. The Fossil expert system. *Expert Systems*, 3: 76-83.
- Brunt A. A., Crabtree K., Dallwitz M. J., Gibbs A. J., Watson L., Zurcher E. J. (eds.) 1996 (onwards). Plant Apple chlorotic leaf spot *trichovirus*, Viruses Online, descriptions and Lists from the VIDE Database. Version: 16th January 1997. (URL <http://biology.anu.edu.au/Groups/MES/vide/>)
- Chmielewski Z. 1909. Zmienność kwiatów u *Anemone nemorosa* L.. *Kosmos* 34, 475-480
- Chmielewski Z. 1913. Zmienność ilości znamion maku polnego (*Papaver rhoeas* L.) *Kosmos* 38, 1174-1180
- Cieślak E. 2001. Taksonomia i chorologia kompleksu *Caltha palustris* s. l. na terenie Polski. Praca doktorska wykonana w Instytucie Botaniki PAN w Krakowie pod kierunkiem Prof. dr hab. Zbigniewa Mirka.
- Czeczottowa H. 1933. Studium nad zmiennością liści buków *Fagus orientalis* LIPSKY, *F. silvatica* L. i form przejściowych. *Roczniki Polskiego Towarzystwa Dendrologicznego*. Część I 5: 1-76.
- Dallwitz M. J. 1974. A flexible computer program for generating diagnostic keys. *Syst. Zool.*, 23: 50-57.
- Dallwitz M. J. 1980. A general system for coding taxonomic descriptions. *Taxon*, 29: 41-46.
- Darlington C. D. 1928. Studies in *Prunus*, I and II. *J. Genet.* 19(2): 213-256
- Darlington C. D. 1933. Studies in *Prunus*, IV. *J. Genet.* 28(2): 327-328
- De Candolle A. P. 1825. Prodrumu II. (strona 532, za DOMINEM)
- Dickinson T. A., Parker W. H., Strauss R. E. 1987. Another approach to leaf shape comparisons. *Taxon* 36(1): 1-20.
- Dietsch M. F., 1996. Gathered fruits and cultivated plants at Bercy (Paris), a Neolithic village in fluvial context. *Vegetation history and archeology* 5:(1-2) 89-97 Jun.

- Domin K. 1945. O proměnlivosti trnky (*Prunus spinosa* L.). Rozpr. České Akad. Ved. Umeni, 54/27
- Dostal J. 1989. Nová květená ČSSR. T. 1-2. Academia, Praha.
- Downie S. R., Katz-Downie D. S., Spalik K., 2000. A phylogeny of *Apiaceae* tribe *Scandiceae*: evidence from nuclear ribosomal DNA Internal Transcribed Spacer sequences. American Journal of Botany 87(1): 76-95
- Dudani S. A., Breeding K. J., McGhee R. B. 1977. Aircraft identification by moment invariants. IEEE Transactions on Computers C-26: 39-45.
- Duncan T., Meacham C. A. 1986. MEKA Version 1.1. A general purpose multiple-entry key algorithm. Herbarium, University of California, Berkeley
- Edgar G. 1990. Measures, Topology and Fractal Geometry. Springer-Verlag, New York.
- Efron B., Gong G., 1983. A leisurely look at the bootstrap, the jackknife, and cross-validation. Am. Stat. 37: 36-48.
- Endlich J., Murawski H. 1962. Untersuchungen an Artbastarden von *Prunus spinosa* L. x *P. cerasifera* Ehrh. Und die frage der Endtehung von *Prunus domestica* L.. Beitrage zur Zuchtungs forshung an Pflaumen III. Der Zuchter 32(3):121-133
- Estep K., Slugs R., Syvertsen E. E. 1993. 'Linnaeus' and beyond: Workshop report on multimedia tools for the identification and database storage of biodiversity. Hydrobiologia, 269: 519-525.
- Faliński J. B., Hryniewicz-Sudnik J., Fabiszewski J. 1963. Śródpolne zarośla z rzędu Prunetalia (czyżnie) Równiny Kutnowskiej jako wskaźnik dzisiejszej potencjalnej roślinności naturalnej. Act. Soc. Bot. Pol. Vol. XXXII – Nr 4
- Fernandez-Garcia T, Casp A. 1998. A study on the importance of colour in pacharan. Zeitschrift Fur Lebensmittel-Untersuchung Und-Forschung A-Food Research And Technology 207: (5) 395-399

- Fernandez-Garcia T, Martin M. E., Casp A. 1998. Quantification of significant volatile components of pacharan, *Zeitschrift Fur Lebensmittel-Untersuchung Und-Forschung A-Food Research And Technology* 206: (6) 414-416
- (Fernandez-)Garcia T. (F.?), Casp A. 1999. A research note: Study on the quality of pacharan by sensory evaluation. *Journal Of Food Quality* 22: (4) 453-460 OCT.
- Ferry B. W., Lodge E. 1996. Distribution and succession of lichens associated with *Prunus spinosa* at Dungeness. England, *Lichenologist* 28: 129-143 Part 2 MAR
- Gerhards B., Nabout A., Sökefeld M., Kümbach W., Nour Eldin H. A. 1993. Automatische Erkennung von Zehn Unkrautarten mit Hilfe digitaler Bilderverarbeitung und Fourier transformation. *Journal of Agronomy and Crop Science* 171: 321-328.
- Goldberg D. E. 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley, Reading, MA.
- Gołąbek B. 2000. *Badania nad Coleochatete (Chlorophyta) w Jeziorze Białym Wigerskim. Wstępne obserwacje ekologiczne i fenologiczne. Praca magisterska wykonana w Zakładzie Systematyki i Geografii Roślin Uniwersytetu Warszawskiego pod kierunkiem dr H. Szymańskiej.*
- Gostyńska-Jakuszevska M. (oprac.), Browicz W. (red) 1976. *Atlas rozmieszczenia drzew i krzewów w Polsce. Z. 21*, PWN Warszawa-Poznań.
- Gr✱tschel M., Wakabayashi Y. 1990. Facets of the clique partitioning polytope. *Mathematical Programming* 45: 367-387.
- Guyer D. E., Miles G. E., Gaultney L. D., Schreiber M. M. 1993. Application of machine vision to shape analysis in leaf and plant identification. *Transactions of the ASAE* 36: 163-171.
- Guyer D. E., Miles G. E., Schreiber M. M., Mitchell O. R. , Vanderbilt V. C. 1986. Machine vision and image processing for plant identification. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering* 29: 1500-1507.

- Haeupler H., Schönfelder P. 1988. Atlas der Farn- und Blütenpflanzen der Bundesrepublik Deutschland. E.Ulmar Verl., Besel und Stuttgart.
- Hair, J. T., Anderson R. E., Tatham R. I., Black W.C. 1998. Multivariate data analysis. Fifth edition, Prentice-Hall International, Inc.
- Harper D., Witkowski F., Kemp-McCarthy D., et al. 1997. The distribution and abundance of riparian trees in English lowland floodplains, *Global Ecology And Biogeography Letters* 6: (3-4) 297-306 May-Jul.
- Hegi G. 1935. *Illustrierte Flora von Mittel-Europa*. C. Hansen Verl., Munchen.
- Hegi G. 1963. *Illustrierte Flora von Mittel-Europa*. P. Parey Verl., Berlin, Hamburg.
- Heß H. E., Landolt E. 1970. *Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete*, Band 2: Nymphaeaceae bis Primulaceae. Birkhäuser Verlag, Besel und Stuttgart.
- Holecova M., Degma P. 1997. Weevil communities (*Coleoptera, Curculionidae*) on rosaceous woody plants in SW Slovakia. *Biologia* 52:(2) 253-261 Apr.
- Holland J. H. 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. The University of Michigan Press, Ann Arbor.
- Horvat I., Glavač V., Ellenberg H. 1974. *Vegetation Sudosteneuropas*, Veb Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Jakubowski R. 1986. A structural representation of shape and its features. *Information Sciences* 39: 129-151.
- Jakubowski R. 1989. A theoretic framework for structural representation and recognition of machine parts features in rotational or box-type cubic parts. *Archiwum Informatyki Teoretycznej i Stosowanej* 1(z. 1-4):3-33.
- Jankowski M. 1990. *Elementy grafiki komputerowej*. Wydawnictwo Naukowo Techniczne.
- Jentys-Szaferowa J. 1959. Graficzna metoda porównywania kształtów roślinnych. *Nauka Polska*. R. VII nr 3(27).

- Jentys-Szaferowa J. 1971. Przegląd badań nad zmiennością roślin wykonanych w Polsce w ostatnim 25-leciu, Część 2.. Wiadomości Botaniczne, Tom XV - Zeszyt 4.
- Kegler H., Fuchs E., Gruntzig M., Schwarz S. 1998. Some results of 50 years of research on the resistance to plum pox virus. *Acta virologica* 42:(4) 200-215 Sep.
- Keller J. M., Gray M. R., Givens J. A. jr. 1985. A Fuzzy *K*-Nearest Neighbor Algorithm. *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.* SMC-15, 4: 580-585.
- Kenkel N. C., Walker D. J. 1996. Fractals in biological sciences. *Coenoses* 11(2): 77-100.
- Kennedy M. J., Spooner N. R. 1994. The use of fuzzy-logic to aid in microorganism identification - A case study of *Haemophilus* species identification. *Binary-Comput. Microb.*, 6: 132-135.
- Kincaid D. T., Schneider R. B. 1983. Quantification of leaf shape with a microcomputer and Fourier transform. *Canadian Journal of Botany* 61: 2333-2342.
- Komarow W. L. (red.) 1964. Flora SSSR. T. 10. Izdat. Akademii Nauk SSSR, Leningrad.
- Kondracki, J. 1978. Geografia fizyczna Polski. Wyd. czwarte zmienione, PWN Warszawa
- Kovalev N. V., Kostina K. F. 1935. K izuceniju roda *Prunus* Focke. *Trudy po prikladnoj Botanikie, Genetike i Selekcii* 8(4): 1-75.
- Krüssmann G. 1986 (English translation). Manual of cultivated broad-leaved trees & shrubs. Timber press Inc., Portland, Oregon.
- Kuhl F. P., Giardina C. R. 1982. Elliptic Fourier features of a closed contour. *Computer Graphics and Image Processing* 18: 236-258.
- Kuntz O. 1867. Taschen Flora. Leipz. (strona 274, za Dominem)
- Leastrel P. E.(editor) 1997. Fourier descriptors and their applications in biology. Cambridge University Press.
- Lewenstein M., Nowak A., Latane B. 1992. Statistical mechanics of social impact. *Physical Review A.*, 45, 763-776.

- Linné C. 1799. Species plantarum. Tomus II, Editio Quarta, Berolini Impensis G. C. Nauk.
- Lucasius C. B., Dane A. D., Kateman G. 1993. On *k*-medoid clustering of large data sets with the aid of a genetic algorithm: background, feasibility and comparison. *Analytica Chimica Acta* 282: 647-669.
- Ludwig 1896. Wzmianka w pracy przeglądowej JENTYS-SZAFEROWEJ (1971), ale brak bibliografii. O „prawie Ludwiga” pisze SZYMKIEWICZ (1928), ale także bez podania źródła.
- Luszniewicz A. 1987. Statystyka ogólna, Wydanie piąte, zmienione. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Mandelbrot B. B. 1982. *The Fractal Geometry of Nature*. Freeman, San Francisco.
- Marcus L. F. et al. (eds) 1996. *Advances in Morphometrics*. NATO Advanced Science Institute Series A: Life Sciences. New York, Plenum Press.
- Medvedev, Ja. S. 1883 (1888?). *Derev'ja i kustarniki Kavkaza. Opisanie dikorastuščich i odičavščich derevjanistych rastenij Kavkaza, s ukazaniem ich rosprostraneniija, svojstv i upotrebleniija*. Tiflis 1-e izd.
- Medvedev JA. S. 1888. Praca cytowana przez DOMINA (1945), ale bez podania bibliografii. Być może chodzi o tłumaczenie lub późniejsze wydanie pracy z 1883 lub jest to błąd drukarski.
- Melville R. 1937. The accurate description of leaf shapes by rectangular coordinates. *Annals of Botany (London), New. Ser.* 1(4):673-679
- Michalewicz Z. 1996. Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Middleton R. 1998. The plants of Hull : an electronic atlas. *Naturalist* 123 24 - 26. (http://www.hull.ac.uk/php/ggsrm/hull_plants/flora.htm)
- Molvray M., Kores P. J., Darvin S. P. 1993. Inexpensive digital data acquisition for morphometric study. *Taxon* 42.

- Moraczewski I. R. 1998. Analyzing leaf margins with the use of a shape feature description language. *Canadian Journal of Botany* 76: 552-560.
- Moraczewski I. R. 1996. Fuzzy rough sets as a tool for ecological data analysis. *Coenoses* 11: 55-67.
- Moraczewski I. R., Borkowski W. 1997. Analyzing Leaf Shapes with the Use of Fractal Measures and a Shape Feature Description Language. *Proceedings of the III National Conference on Applications of Mathematics in Biology and Medicine, Mądralin, Poland, September 16-19, 1997*, pp. 50-55.
- Moraczewski I. R., Borkowski W., Kierzek A. 1995. Clustering geobotanical data with the use of a genetic algorithm. *Coenoses* 10(1): 17-28.
- Moraczewski I. R., Sudnik-Wójcikowska B., Borkowski W. 1996. Rough sets in floristic description of the inner-city of Warsaw. *Flora* 191: 253-260.
- Morrison J. 1990. *Wielowymiarowa analiza statystyczna*, PWN Warszawa
- Nowak A., Szamrej, J., Latane B. 1990. From private attitude to public opinion: Dynamic theory of social impact. *Psychological Review*, 97, 362-376.
- Oberdorfer E. 1990. *Pflanzensoziologische Exkursions Flora*. Verl. E. Ulmer, Stuttgart.
- Parui A. K., Dutta Majumder D. 1983. Symmetry analysis by computer. *Pattern Recognition* Vol.16, No.1, pp.63-67.
- Peitgen H. O., Soupe D. (Eds.) 1988. *The Science of Fractal Images*, Springer-Verlag, New York
- Polak J. 1998. Relative concentration of plum pox virus in leaves and flowers of some *Prunus* species and cultivars, *Acta Virologica* 42: (4) 264-267 SEP
- Prywer C. 1936. Badania cytologiczne nad niektórymi gatunkami rodzaju *Prunus*. *Acta Soc. Bot. Pol.* 13(1): 51-83
- Rath T. 1996. Klassifikation und Identifikation gartenbaulicher Objekte mit künstlichen neuronalen Netzwerken. *Gartenbauwissenschaft* 61(4): 153-159.

- Rohlf F. J., Marcus L. F. 1993. A revolution in morphometrics. TREE 8(4): 129-132
- Rohlf J. F., Archie J. W. 1984. A comparison of Fourier methods for the description of wing shape in mosquitoes (*Diptera: Culicidae*). Systematic Zoology 33(3): 302-317.
- Rouy de Camus 1900. Flore de France, tome VI. p15-23 (za DOMINEM)
- Ruiz J. 1990. Aspects of sloe (*Prunus spinosa* L.) propagation by cuttings. Fruticultura Profesional 28:19-21 (Spanish, English abstract).
- Ruiz J. 1991. Distribution of sloe (*Prunus spinosa* L.) in Navarra province. Lazaroa 12:397-399 (Spanish, English abstract). ISSN 0210-9778.
- Ruiz J. 1996. *Prunus spinosa* in Spain. Non-Wood News 4:37-38 (spanish). ISSN 102-3435.
- Rybin V. A. 1936. Spontane und experimentell erzeugte Bastarde zwischen Schwarzdorn und Kirschlorde und das Abstammungsproblem der Kulturpfleume. Planta XXV. P22-58, Berlin.
- Rybin V. A. 1951. Eksperymentalnyje dannye po voprosu gibridognovo proishozdenija slivy *Prunus domestica* L. Trudy Krym. Fil. Akad. Nauk SSSR 1(1): 45-61
- Sanderson M. J., Baldwin B. G., Bharathan G., Campbell C. S., von Dahlen C., Fergussan D., Porter J. M., Wojciechowski M. F., Donagbue M. J. 1993. The growth of phylogenetic information and the need for phylogenetic data base. Syst. Biol. 42: 562-568
- Seneta W. 1973. Dendrologia. PWN, Warszawa.
- Sneath P. H. A., Sokal, R. R. 1973. Numerical taxonomy. W. H. Freeman and Company, San Francisco.
- Spenner 1825. Flora Fryburgi III (strona 732, cyt. wg DOMIN 1945)
- Staszkiwicz J. (red.) 1997. Zmienność wybranych gatunków krzewów i drzew. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.

- StatSoft Inc. 1996. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK 74104, phone: (918) 749-1119, fax: (918) 749-2217, email: info@statsoftinc.com, WEB: <http://www.statsoftinc.com>
- Stecki K., Bella E. 1931. Studia biometryczne nad cisem (*Taxus boccata* L.). Roczn. Pol. Tow. Dendr., 4, 30-42
- Szafer W., Pawłowski B. 1955. Flora polska. Tom VII. 1919-1980. T. 1-14. PAU-PWN, Warszawa - Kraków:
- Szymańska H., Gołąbek B., Zakryś B. (W przygotowaniu) Badania morfometryczne przedstawicieli rodzaju *Coleochatete*.
- Szymkiewicz D. 1928. Sur la portée de la loi de Ludwig. Acta Soc. Bot. Pol. Vol. 5(4), 390-395
- Tian L., Slaughter D. C., Norris R. F. 1997. Outdoor field machine vision identification of tomato seedlings for automated weed control. Transactions of the ASAE 40: 1761-1768.
- Tutin T. G., Heywood, V. H., Burges, N. A., Moore, D. M., Valentine, D. H., Walters, N. A., Webb, D. A. (editors) 1968. Flora europea Vol. 2 *Rosaceae* to *Umbelliferae*, Cambridge Univ. Press.
- Vlcek J., Cheung E. 1986. Fractal analysis of leaf shapes. Canadian Journal of Forestry Research. 16: 124-127.
- Voronov G. 1925. Dikoastuscie roditci plodowych derevev i kustarnikow Kavkazskovo kraja i Perednej Azii. Bull. Appl. Bot. Genet. Pl. Breed 14(3):45-71
- Warllroth 1822. Schedulae criticae I. p. 216.(cyt. za DOMINEM 1945)
- Weihe 1826. Flora IX p. 748. (cyt. za DOMINEM 1945)
- West J. G., Noble I. R. 1984. Analyses of digitised leaf images of the *Dodonaea viscosa* complex in Australia. Taxon 33(4): 595-613.

- White R. J., Prentice H. C., Verwijst T. 1988. Automated image acquisition and morphometric description. *Canadian Journal of Botany* 66: 450-459.
- Wiśniewski T. 1932. Studia biometryczne nad zmiennością buka w Polsce. *Sylwan* 50: 1-27.
- Wojterska M. 1990. Mezofilne zbiorowiska zaroślowe Wielkopolski. Prace komisji biologicznej PTPN, TOM LXXII, PWN Warszawa-Poznań.
- Wójcicki J. J. 1988. Zmienność *Prunus fruticosa* PALLAS w Polsce na tle zmienności gatunku. Praca doktorska wykonana w Instytucie Botaniki PAN w Krakowie pod kierunkiem Prof. dr hab. Jerzego Staszkiwicza.
- Zakryś B., Kucharski R., Moraczewski I. R. 1996. Genetic and morphological variability among clones of *Euglena pisciformis* KLEBS based on RAPD and biometric analysis. *Arch. f. Hydrob. Suppl. Algol. Studies* 18:1-21.
- Zakryś B., Moraczewski I. R., Kucharski R. 1997. The species concept in *Euglena* in the light of DNA polymorphism analyses. *Arch. f. Hydrob. Suppl. Algol. Studies* 86: 51-79.
- Ziarko W. 1991. The Discovery, Analysis and Representation of Data Dependencies in Databases. In: Piatetsky-Shapiro, G., i W. J. Frawley (eds.) *Knowledge Discovery in Databases*. AAAI Pres/The MIT Press. Menlo Park, CA, pp. 195-209.
- Żukowski W., Latowski K., Jackowiak B., Chmiel J. 1995. Rośliny naczyniowe Wielkopolskiego Parku Narodowego. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.

Dodatek A – szczegółowe lub zbyt duże tablice i wykresy.

Tab. 18. Przykładowe nazwy narodowe *Prunus spinosa* L. wraz ze źródłosłowem.

JĘZYK	NAZWA	ŹRÓDŁOSŁÓW
Łaciński	<i>Prunus spinosa</i>	<i>Prunus</i> = śliwa, <i>spinosa</i> = ciernisty.
Hiszpański	Endrino	
Francuski	Epine noir, Prunellier	
Angielski	Blackthorn, Sloe (tree)	<i>Black</i> = czarny, <i>thorn</i> = cierń, <i>sloe</i> ←? <i>slay</i> = zabić, uśmiercić.
Niemiecki	Schlehe, Schlehdorn, Schwarzdorn	Analogicznie: <i>dorn</i> = cierń
Szwedzki	Slån	
Rosyjski	Слива колючая, Терн	Колючий = kolczasty,
Czeski	Trnka	<i>Trnity</i> = ciernisty
Polski	Tarnina, Śliwa tarnina Nazwy ludowe: tarka, ciarka, ciarki, cierniak, cierniaki, ciernie, ciernie czarne, ciernik, cierniówka, cierń, cirmie, czercio śliwka, czerzenie, czyrzenie, dzika śliwa, korcipka, ostręże, ostrzęże, śliwa dzika, śliwa tarka, śliwa tarń, tarki, tarn, tarnka, tarnki, tarnkowe drzewo, tarnośliw, tarnośliwa, tarnośliwka, tarnówka, tarń, torka, torki, tórnie, tórzeń, turcyna, (wilżyna), żarnośliwa.	od dawnego brzmienia słowa „cierń”.

Tab. 19. Zestawienie ważniejszych podgatunków, odmian i mieszańców *P. spinosa* L..

<i>P. spinosa</i> var. <i>dasyphylla</i> SCHUR	Uznawana za formę środowiskową
<i>P. spinosa</i> var. <i>microcarpa</i> WALLR	Prawdopodobnie pospolita forma środowiskowa
<i>P. spinosa</i> var. <i>macrocarpa</i> WALLR	Przypuszczalnie naturalna krzyżówka z <i>P. domestica</i> ssp. <i>intistitia</i> lub ssp. <i>domestica</i>
<i>P. spinosa</i> var. <i>typica</i> MEDW.	Forma opisana z Kaukazu
<i>P. spinosa</i> var. <i>pubescens</i> MEDW.	Forma opisana z Kaukazu
<i>P. spinosa</i> 'Plena', 'Purpurea', 'Variegata'	Odmiany hodowlane
<i>P. cerasifera</i> 'Nigra' x <i>P. spinosa</i> = 'Rosea'	Ozdobne krzyżówka hodowlana
<i>P. media</i> KOV (= <i>P. Rybinii</i> DOM?)	naturalna krzyżówka <i>P. spinosa</i> z <i>P. cerasifera</i> var. (ssp.) <i>divaricata</i>
<i>P. fruticans</i> WEIHE	Europejska hybryda <i>P. spinosa</i> x <i>P. domestica</i> subsp. <i>insititia</i>
<i>P. spinosa</i> subsp. <i>euspinosa</i> DOM	Podgatunek opisany przez Domina w 1945 r.
<i>P. spinosa</i> subsp. <i>moravica</i> DOM	Podgatunek opisany przez Domina w 1945 r.
<i>P. spinosa</i> subsp. <i>megalocarpa</i> DOM	Podgatunek opisany przez Domina w 1945 r.
<i>P. spinosa</i> subsp. <i>ovoideoglobosa</i> DOM	Podgatunek opisany przez Domina w 1945 r.
<i>P. spinosa</i> subsp. <i>Fechtneri</i> DOM	Podgatunek opisany przez Domina w 1945 r.
<i>P. spinosa</i> subsp. <i>dasyphylla</i> (SCHUR) DOM	Podgatunek opisany przez Domina w 1945 r., z sugestią, że jest to być może nawet odrębny „czysty” gatunek

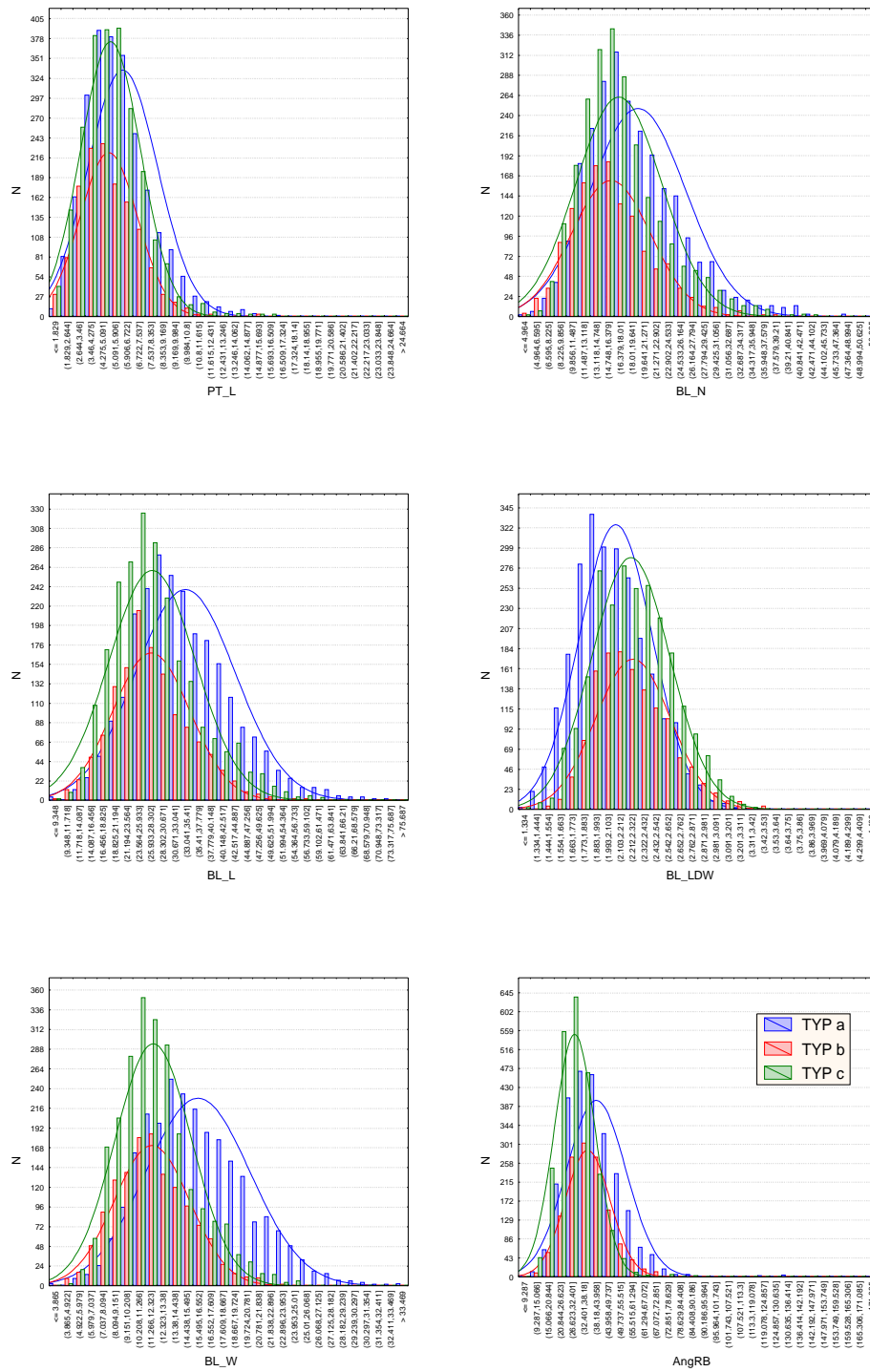
Tab. 20. Tabelaryczne zestawienie stanowisk wraz z cechami geograficzno-klimatycznymi. OKR_WEG = okres wegetacyjny; STRF_WEG = strefy wegetacji; USLONECZ = średnie usłonecznienie; OPADY_ROK = suma opadów; DNI_MROZ = dni mroźne (poniżej 0) w roku; DNI_CIEP = dni ciepłe (powyżej 15) w roku; IZOT_LIP = izotermy lipca; IZOT_STY = izotermy stycznia; IZOT_ROK = izotermy roku; DNI_SNIE = dni śnieżne w roku; IZAMPLTUDY = izoamplitudy miesięczne dla roku; ZCHM_LIP = zachmurzenie lipca; ZCHM_ROK = zachmurzenie średnie; ZCHM_STY = zachmurzenie stycznia. Pusta komórka lub „bd” = brak danych.

SKROTY W NAZWACH PLIKOW	LOKALIZACJA	GATUNEK	POCHODZENIE	DZIEŃ	MIESIĄC	ROK	OPIS LOKALIZACJI	UWAGI	WS/ZCH	PD/PN	mNPM	OKR_WEG	STRF_WEG	USLONECZ	OPADY_ROK	DNI_MROZ	DNI_CIEP	IZOT_LIP	IZOT_ROK	IZOT_STY	DNI_SNIE	IZAMPLTUDY	ZCHM_LIP	ZCHM_ROK	ZCHM_STY	
bie	Bielinek	<i>Prunus spinosa</i>	KRAM	5	7	75	Bielinek nad Odrą, (rezerwat?)	bd	14.212	52.927	25	225	1	4	550	65	90	18.5	8.5	-1.25	30	19.5	6.25	6.25	7.25	
bor	Boreczno	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	24	7	98	Okolice cmentarza. Wapienny tłuczeń na drogach	Okazy dorodne, rozkrzewione, tworzące jakby małe czyżnie	19.750	53.800	175	205	3	4.2	600	85	90	18.5	7.25	-3.75	75	21.5	5.75	6.25	7.5	
gad	Gadorosz	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	11	8	99	Gadorosz k. Beketszeby na pd. Węgier, między polami a drogą	Liczne owoce duże jak na taminę i mało cierpkie. Czyżnie, ale dosyć luźne	20.738	46.691			0													
gni	Gniew	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	19	8	98	Skarpa wiślana i podnóże pod zamkiem	Okazy dość niskie, liczne (świeże / świętojańskie ?) pędy z drobnymi liśćmi	18.818	53.873	25	205	3.5	4.4	550	85	90	18.5	7.5	-3.25	55	21	5.75	6.25	7.75	
hom	Homole	<i>Prunus spinosa</i>	KRAM	14	6	73	Wąwóz Homole w Pieninach	bd	20.528	49.400	600	190	4	3.8	850	125	40	16.5	6	-5.5	150	21.5	5.75	6.25	7	
jab	Jabłonna	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	4	8	98	Szkółka leśna, okrajek koło rezerwatu	Raczej typowe samotne okazy i podrost	20.882	52.418	50	215	3	4.4	550	85	110	19.5	8.25	-3.5	85	22.5	6	6.5	7.75	
lak	Łąkorz	<i>Prunus spinosa</i>	KRAM	13	7	75	bd	Okazy ostatecznie niewykorzystane																		
lek	Kamień Leski	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	25	5	99	Przy punkcie widokowym "Kamień Leski"	Niezbyt wysokie rzadkie zarośla i podrost	22.389	49.491	400	205	3.5	4	850	95	90	17.5	7.25	-4.5	100	22.5	5.75	6.25	7.25	
les	Lesko	<i>Prunus spinosa</i>	KRAM	27	7	76	Okolice Leska	bd	22.361	49.455	350	205	3.5	4	850	95	80	17.5	7.25	-4.5	100	22.5	5.75	6.25	7.25	
lig	Ligota Dln.	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	17	7	99	Rezerwat na Górze św. Anny w gęstych zaroślach mieszanych	Stare, wysokie, gęste okazy i podrost przy nich	18.114	50.527	350	225	1.33	3.8	650	65	110	18.5	8.5	-2.5	60	21.5	6	6.5	7	
lip	Lipków	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	8	9	98	Nieużytki za wsią od strony puszczy	Niezbyt gęste, wysokie zarośla	20.853	52.327	50	215	3	4.4	550	85	110	18.5	8.5	-3.5	85	22	6.25	6.5	7.75	
mys	Wąwóz myśliborski	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	18	7	99	W cieniu przy ścieżce do rezerwatu	Niewysokie, mało gałęziste i mało cierniste	16.086	51.055	350	220	4	3.8	650	65	100	18.5	8.25	-2	60	19.5	6.25	6.75	7.25	
nit	Nitra	<i>Prunus spinosa</i>	KRAM	21	8	73	Nitra-Lubka i Tribec na Słowacji	bd	18.083	48.378		210	0.66													
ola	Olaszliszka	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	12	8	99	Olaszliszka k. Szarospatok na pn. Węgier, między polami a drogą	Luźna czyżnia. Okazy dość słabo owocujące, raczej młode	21.436	48.236			0													

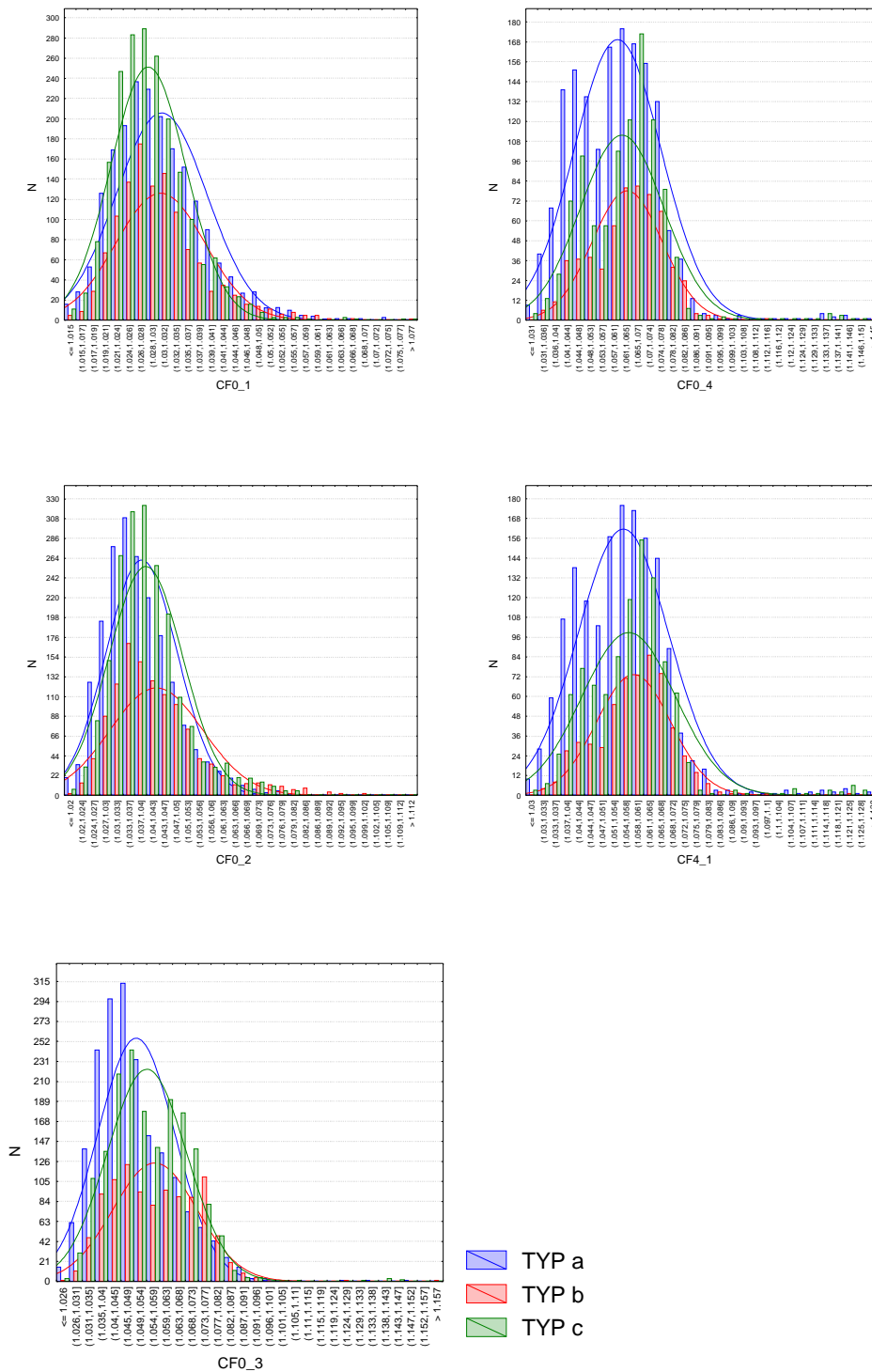
SKROJ W NAZWACH PLIKÓW LOKALIZACJA	GATUNEK	POCHO- DZENIE	DZIEŃ	MIESIĄC	ROK	OPIS LOKALIZACJI	UWAGI	WSZCH	PD/PN	mNPM	OKR_ WEG	STRF_ WEG	USLONECZ	OPADY_ ROK	DNI_ MROZ	DNI_ CIEP	IZOT_ LIP	IZOT_ ROK	IZOT_ STY	DNI_ SNIE	IZAMPLI TUDY	ZCHM_ LIP	ZCHM_ ROK	ZCHM_ STY	
otr	Otryt0	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	26	5	99	Południowo wschodni stok Otrytu powyżej skrzyżowania na Zatwarnicę	Niewysokie, mocno ciemiste, liście jeszcze jasnozielone, nie całkiem wykształcone	22.694	49.218	750	190	4	3.8	950	105	70	16.5	7	-5.5	150	22	5.75	6.25	7.25
otz	Otryt	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	14	8	99	Południowo wschodni stok Otrytu powyżej skrzyżowania na Zatwarnicę	Niewysokie, mocno ciemiste, częste odrosty świętojańskie, owoce raczej nieduże	22.694	49.218	750	190	4	3.8	950	105	70	16.5	7	-5.5	175	22	5.75	6.25	7.25
pia	Piaski	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	15	6	98	„Spalony dom” w Piaskach k. Elku	zazwyczaj bez l. pod-ciemiowych, niektóre owoce w nietypowych położeniach, brak typowych starych odgałęzień	22.364	53.909	75	195	4	3.6	650	105	90	17.5	6.5	-5.25	95	23	6.5	6.75	7.75
pi2	Piaski2	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	25	6	99	„Spalony dom” w Piaskach k. Elku	Z pędami świętojańskimi, owoce drobne lub bardzo duże	22.364	53.909	75	195	4	3.6	650	105	90	17.5	6.5	-5.25	95	23	6.5	6.75	7.75
pie	Jaworki	<i>Prunus spinosa</i>	KRAM			70	Wąwóz Jaworki w Pieninach	bd	20.556	49.400	600	190	4	3.8	850	125	40	16.5	6	-5.5	150	21.5	5.75	6.25	7
pry	Przysłup Żałuz	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	28	5	99	Okolice parkingu na Górze Przysłup nad Żałuzem	Dorodne zarośla	22.361	49.527	600	205	3.5	4	850	95	90	17.5	7.25	-4.5	100	22.5	5.75	6.25	7.25
pus	Puszczycówko	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	19	7	99	WPN za Puszczycówkiem, między drogą a polami	Mało ciemiste, liczne bardzo grube, drzewiaste	16.824	52.291	75	220	2	3.6	550	75	110	18.5	8.25	-2.5	55	21	6.25	6.5	7.5
roz	Kosobudy	<i>Prunus spinosa</i>	KRAM			67	Wieś Kosobudy k. Zamościa	bd	23.143	50.636	250	205	4	4.5	550	105	90	18.5	7.25	-4.5	85	23.5	5.5	6.25	7.5
rud	Rudzienice	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	26	7	98	Stok nad jez. Łabędź	Krzewy niskie, często zaatakowane, brak owocujących. Czasem liście podcierniowe	19.719	53.655	175	205	3	4.2	600	85	90	18.5	7.25	-3.75	75	21.5	6	6.5	7.75
san	Sandomierz	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	28	5	99	Rezerwat „Góry pieprzowe”, zbocza	Wszystkie okazy krzaczaste, niewysokie, czasem w cieniu (?)	21.771	50.709	150	215	3	4.4	600	95	100	18.5	7.25	-4.5	80	22.5	5.75	6.25	7.5
sie	Sierpc	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	17	8	98	Okolice wejścia do skansenu	Gęste zarośla, okazy dorodne, pędy i ciemnie raczej grube	19.667	52.855	100	210	2.33	4.2	550	85	90	18	7.5	-3.75	65	21.5	6.5	6.75	7.75
sko	Skorocice	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	7	6	98	Rezerwat Skorocice k. Buska	Okazy starsze, ale niezbyt dorodne	20.714	50.418	275	205	2.66	4.4	600	85	100	18.5	7.5	-4	75	22.5	6	6.5	7.5
skw	Skowronno	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	7	6	98	Wzgórze na Skowronnem k. Pińczowa	Małe fragmenty, ale niektóre z krzewów były całkiem spore. Podłużne zarośla śródpolne i podrostry	20.543	50.545	250	205	2.66	4.4	600	85	100	18.5	7.5	-4	75	22.5	6	6.5	7.5
smi	Smiłowo	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	19	7	99	Za Piłą, 4km przed Smiłowem, wokół jeziora 0.5 km od szosy Bydgoskiej	Słabo ciemiste, średnio duże	17.030	53.145	100	210	2.33	3.4	550	85	90	18	7.5	-3	60	21.5	6.25	6.75	7.75
sro	Sromowce Niżne	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	9	7	99	Pastwiska i/lub łąki nad wsią, na pd. stoku Pienin	Raczej niewyrośnięte starsze i podrost	20.389	49.382	700	195	4	3.8	850	125	50	16.5	6	-5.5	150	21.5	5.75	6.5	7

SKROTY W NAZWACH PLIKÓW LOKALIZACJA	GATUNEK	POCHO- DZENIE	DZIEŃ	MIESIĄC	ROK	OPIS LOKALIZACJI	UWAGI	WSZCH	PD/PN	mNPM	OKR_WEG	STRF_WEG	USLONECZ	OPADY_ROK	DNI_MROZ	DNI_CIEP	IZOT_LIP	IZOT_ROK	IZOT_STY	DNI_SNIE	IZAMPLTUDY	ZCHM_LIP	ZCHM_ROK	ZCHM_STY	
stawa	Staw	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	6	6	98	Rezerwat Stawska Góra k. Chelma	Niewysokie okazy. Zgrzyzane, stare gałęzie, często liście 'strączkowe'	23.514	51.218	200	205	3	4.6	550	105	100	18.5	7.25	-4.5	85	23.5	5.75	6.25	7.75
stap	Tapadły	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	18	7	99	Podnóże Ślęzy na polach między Tapadłami a Wirami	Średnio wyrosnięte, ale dość gęste zarośla śródpolne	16.686	50.855	300	220	2	3.9	650	65	100	18.5	8.25	-2	60	19.5	6.25	6.25	7.25
stun	Tunel	<i>Prunus spinosa</i>	KRAM	9	8	73	Koło stacji Tunel	bd	19.971	50.382	350	205	2.5	4.2	600	85	90	17.5	7.5	-3.25	70	22	6	6.25	7.75
stawa	Góra Św. Wawrzyńca	<i>Prunus spinosa</i>	KRAM	14	7	75	Pewnie punkt 32 m n.p.m. nad sama Wisłą, na przeciw Bydgoszczy	bd	18.242	53.127	30	215	2.66	4.2	500	85	100	18.5	8	-3.25	60	21.5	6.25	6.5	7.25
stawa	Wolin	<i>Prunus spinosa</i>	KRAM	8	7	75	Woliński Park Narodowy	bd	14.625	53.982	25	215	2	4.2	600	55	90	17.5	8.5	-1	45	18.5	6.25	6.25	7.25
stawa	Góra św. Waw.(tylko A)	<i>Prunus spinosa</i>	KRAM	14	7	75	Pewnie punkt 32 m n.p.m. nad sama Wisłą, na przeciw Bydgoszczy	Osobny, znacznie liczniejszy niż zwykle zestaw liści z długopędów	18.242	53.127	30	215	2.66	4.2	500	85	100	18.5	8	-3.25	60	21.5	6.25	6.5	7.25
stawa	Zielony Bór	<i>Prunus spinosa</i>	KRAM	5	7	75	bd	bd	15.324	51.491	100	225	1.66	3.9	550	65	110	18.5	8.5	-1.5	55	19.5	6.25	6.75	7.25
stawa	Żmudź	<i>Prunus spinosa</i>	Borkowski	6	6	98	Rezerwat Żmudź k. Chelma	Zazwyczaj tylko stare gałęzie, ale okazy niewysokie i rzadko rosnące	23.629	51.018	200	205	3	4.6	550	105	90	18.5	7.25	-4.5	85	23.5	5.75	6.25	7.75
stawa	Żywiec	<i>Prunus spinosa</i>	Moraczewski i Nowak	22	6	98	Góra Grojec, Drugi Potok	Prawie wszystkie z liśćmi podcierniowymi, częste odrosty świętojańskie (lub spóźnione tegoroczne?). Próbki mało ciemiste	19.278	49.691	500	205	4	3.8	950	95	70	17.5	6.5	-4.5	150	21	6.25	6.5	7.25
Inne śliwy i mieszance																									
stawa	Powsin	<i>Prunus sp.</i>	Borkowski	25	8	98	Ogród Botaniczny PAN	Późno, już po pierwszym przymrozku	21.090	55.164	100	215	3	4.4	550	65	110	19.5	8.5	-3.5	85	22	5.75	6.25	7.75
stawa	Sandomierz	<i>Prunus sp.</i>	Borkowski	28	5	99	Rezerwat Góry Pieprzowe, zbocza i góra krawędź	W bezpośrednim sąsiedztwie sadów	21.771	50.709	150	215	2.66	4.4	600	95	100	18.5	7.25	-4.5	80	22.5	5.75	6.25	7.5
stawa	Brzeźna	<i>Prunus domestica</i> subsp. <i>domestica</i>	Borkowski	10	7	99	Sady ośrodka doświadczalnego	bd	20.667	49.600	350	205	3.5	4	800	95	80	17.5	7.25	-5	90	21.5	5.75	6.25	7.25
stawa	Śmiłowo	<i>Prunus domestica</i> subsp. <i>domestica</i>	Borkowski	19	7	99	Wokół jeziora	Zdziczałe w zaroślach	17.030	53.145	100	210	2.33	3.4	550	85	90	18	7.5	-3	60	21.5	6.25	6.75	7.75

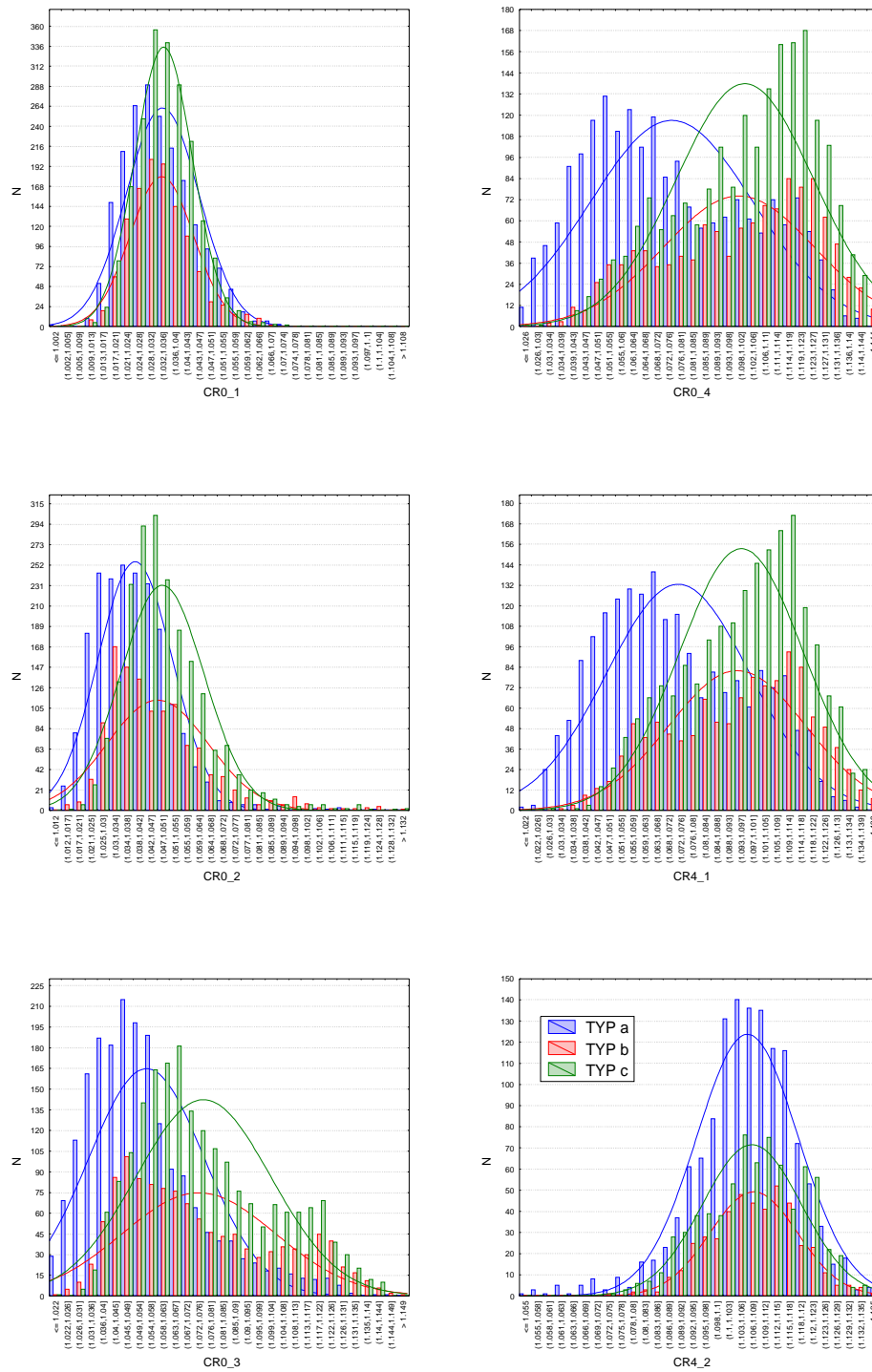
SKROTY W NAZWACH PLIKÓW LOKALIZACJA	GATUNEK	POCHO- DZENIE	DZIEŃ	MIESIĄC	ROK	OPIS LOKALIZACJI	UWAGI	WSZCH	PD/PN	mNPM	OKR_ WEG	STRF_ WEG	USLONECZ	OPADY_ ROK	DNI_ MROZ	DNI_ CIEP	IZOT_ LIP	IZOT_ ROK	IZOT_ STY	DNI_ SNIE	IZAMPL TUDY	ZCHM_ LIP	ZCHM_ ROK	ZCHM_ STY	
spdom 03	Sajzy	<i>Prunus domestica subsp. domestica</i>	Borkowski	3	9	99	Stacja terenowa Wydziału Biologii UW	Jak węgierka o bardzo małych owocach - do 25 mm	22.303	53.945	75	195	4	3.6	650	105	90	17.5	6.5	-5.25	95	23	6.5	6.75	7.75
spcer	Sulistrowiczki	<i>Prunus cerasifera (insilitia?)</i>	Borkowski	18	7	99	Stoki Ślęży, poniżej rezerwatu	Jeden okaz drzewiasty i kilka dużych krzewów.	16.800	50.855	400	220	2	3.9	650	65	100	18.5	8.25	-2	60	20	6	6.25	7.25
spcer	Zagórz	<i>Prunus cerasifera</i>	Borkowski	16	8	99	Na granicy sadu i pola	Siedmioletnie okazy, sam sadziłem	22.222	49.455	300	205	3.66	4	850	95	90	17.5	7.25	-4.5	100	22.5	5.75	6.25	7.25
spsp1 1	Kwidzyn	<i>Prunus spinosa (lub krzyżówka)</i>	Borkowski	9	10	99	Na granicy sadu i nasypu dawnej wąskotorówki	Nieciernisty krzew ze sporymi owocami	18.909	53.727	25	205	3.5	4.3	550	85	90	18.5	7.5	-3.25	60	21.5	5.75	6.25	7.75



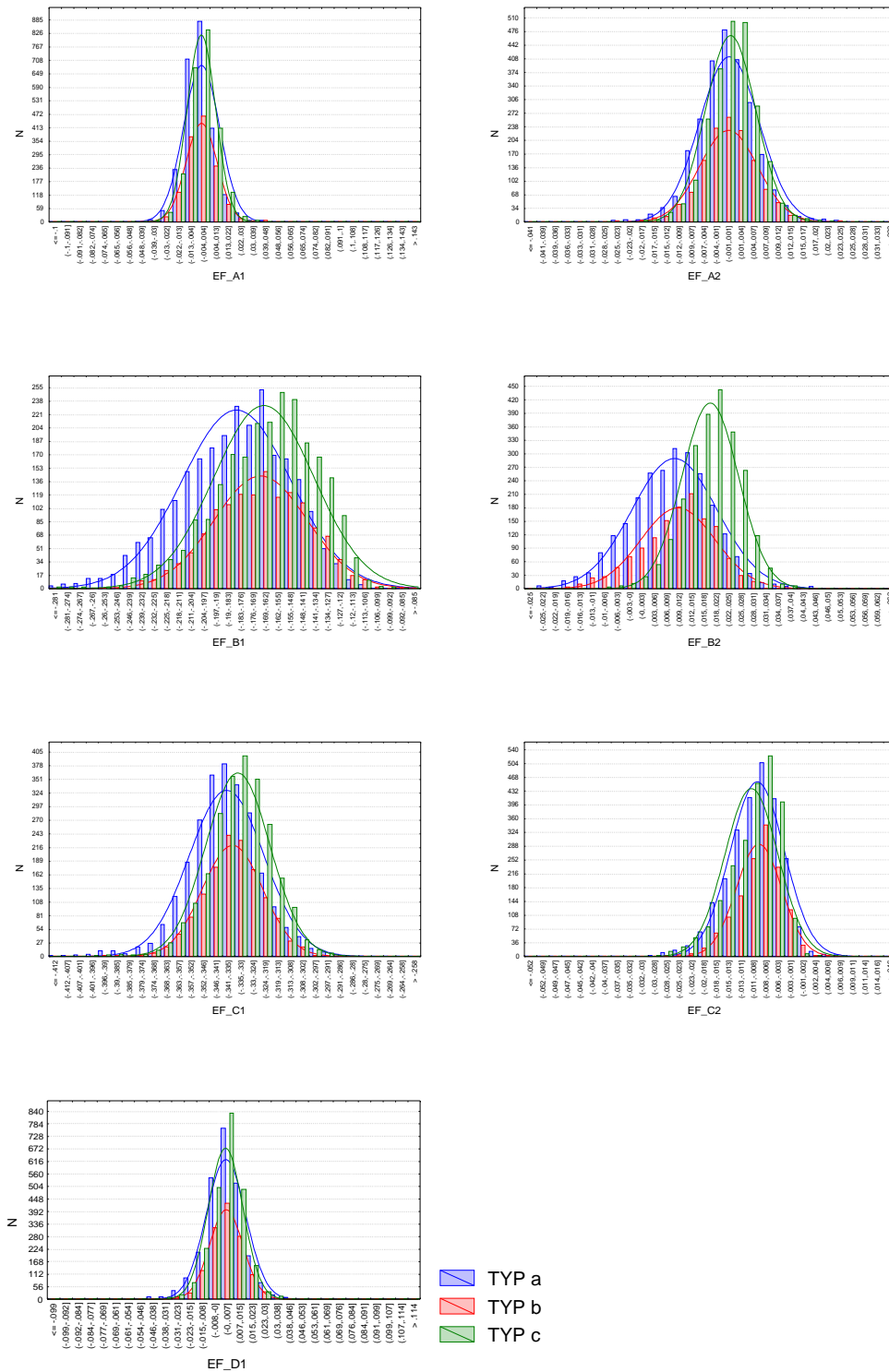
Ryc. 37. Histogramy wybranych zmiennych wielkości z podziałem na trzy typy liści.



Ryc. 38. Histogramy zmiennych opartych na wymiarze cyrklowym z podziałem na trzy typy liści.



Ryc. 39. Histogramy zmiennych opartych na wymiarze korelacyjnym z podziałem na trzy typy liści.



Ryc. 40. Histogramy pierwszych kilku współczynników fourierowskich z podziałem na trzy typy liści.

Tab. 21. Średnie i odchylenia standardowe cech wielkości i kształtu dla poszczególnych populacji z podziałem wg typów pędów ostatniego rzędu. a – cechy długopędów i liści długopędowych, b – cechy cierni i liści cierniowych, c – cechy liści krótkopędowych. Puste komórki = brak danych.

POPULACJA	TYP PĘDU	LICZBA LIŚCI	LICZBA PĘDÓW	BR_L (długość pędu)		BR_W (średnica pędu)		BR_LdW (stosunek długości do średnicy pędu)		PT_L (długość ogonka)		PT_W (średnica ogonka)		BL_L (długość blaszki)		BL_W (szerokość blaszki)		BL_N (odległość najszerszej części blaszki od nasady)		BL_P (obwód blaszki)		AREA (powierzchnia blaszki)		BL_LdW (stosunek długości blaszki do szerokości)		BL_PdW (stosunek obwodu blaszki do jej szerokości)		BL_NdL (względne położenie najszerszego miejsca blaszki)		ANGLT (górny lewy kąt blaszki)		ANGRT (górny prawy kąt blaszki)		ANGLB (dolny lewy kąt blaszki)		ANGRB (dolny prawy kąt blaszki)		EdgeCnt (wykryta liczba ząbków)			
				Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd
				Cala		Cala pop.		bie		bor		gad		gni		hom		jab		lek		les																			
Cala	a	2492	812	102.47	76.50	3.27	1.30	29.86	16.35	6.02	2.38	1.03	0.24	33.94	9.87	15.95	4.60	19.61	6.52	97.75	28.04	390.9	211.1	2.12	0.34	6.19	0.80	0.57	0.06	64.4	16.2	64.0	15.9	43.0	14.7	41.0	14.3	15.0	6.66		
Cala	b	1350	1029	32.80	17.28	2.88	0.90	11.74	5.89	5.07	1.96	0.89	0.17	27.19	7.65	11.89	3.33	15.94	5.41	77.80	22.21	238.9	123.2	2.28	0.34	6.59	0.85	0.58	0.06	67.5	15.4	67.2	15.3	39.4	12.5	36.9	10.8	12.8	5.49		
Cala	c	2358								5.20	2.04	0.88	0.17	27.37	8.56	12.01	3.38	17.01	5.86	78.28	24.29	238.5	134.9	2.25	0.36	6.52	0.83	0.62	0.05	70.6	12.7	71.2	12.9	31.9	10.1	30.6	9.87	12.8	6.42		
Cala pop.		6200	1841	63.53	62.80	3.05	1.11	19.71	14.76	5.50	2.21	0.94	0.21	29.97	9.50	13.57	4.37	17.83	6.23	86.00	27.21	299.8	183.6	2.20	0.35	6.40	0.84	0.59	0.06	67.4	15.0	67.5	15.0	38.0	13.6	36.1	12.9	13.7	6.42		
bie	a	209	78	79.21	53.90	2.70	0.85	28.15	14.32	5.28	1.35	0.95	0.15	28.65	4.30	13.63	2.45	16.26	2.87	82.36	12.68	273.9	82.32	2.09	0.23	6.09	0.55	0.57	0.05	66.9	14.1	66.0	14.4	39.5	8.83	38.2	8.35	12.7	4.67		
bie	b	84	42	24.88	13.30	2.13	0.54	11.55	5.03	4.28	1.19	0.86	0.15	22.00	4.29	10.44	2.13	12.99	2.69	63.26	12.21	166.2	58.28	2.09	0.18	6.09	0.48	0.59	0.05	72.0	11.9	69.2	12.2	36.1	8.16	34.6	7.26	9.94	3.74		
bie	c	725								4.65	1.46	0.83	0.12	23.45	4.82	11.17	2.11	14.29	3.00	68.44	13.69	183.0	61.33	2.08	0.29	6.14	0.63	0.61	0.04	70.1	12.2	71.1	12.2	31.8	7.59	30.9	8.22	11.4	4.51		
bor	a	81	33	114.03	69.08	2.81	0.79	38.44	15.73	4.57	1.45	1.10	0.17	31.52	9.85	15.48	4.60	17.49	6.09	89.55	27.67	363.7	201.4	2.01	0.29	5.81	0.61	0.55	0.06	68.1	14.4	66.2	14.4	50.3	15.8	44.8	15.2	15.0	6.15		
bor	b	93	115	36.24	16.12	2.80	0.60	12.87	4.69	3.83	1.13	0.90	0.12	24.53	5.25	11.07	2.62	13.53	3.74	68.72	15.09	202.7	80.96	2.22	0.34	6.28	0.78	0.55	0.06	71.2	11.9	70.9	11.4	44.6	10.5	41.0	9.33	11.4	4.14		
bor	c	72								4.62	1.95	0.90	0.13	27.84	9.05	12.38	3.93	16.68	6.30	79.50	26.71	260.1	148.4	2.22	0.31	6.42	0.73	0.59	0.06	73.3	10.8	72.3	12.2	36.7	11.0	37.1	20.6	15.2	7.26		
gad	a	44	16	126.68	65.88	4.75	0.96	25.93	11.09	9.67	1.78	1.51	0.13	43.02	4.93	18.04	2.09	25.10	4.07	122.2	13.12	546.3	117.7	2.36	0.18	6.80	0.46	0.58	0.05	67.4	15.3	68.1	14.8	46.4	9.79	37.1	8.74	12.5	3.74		
gad	b	18	11	27.99	16.60	3.41	0.79	7.91	3.60	7.75	1.58	1.22	0.10	34.50	6.24	13.54	2.00	21.21	5.05	96.16	13.87	336.7	87.83	2.53	0.31	7.15	0.73	0.61	0.05	74.1	11.1	77.6	8.35	36.9	14.1	35.4	20.5	10.0	3.28		
gni	a	89	10	128.12	50.59	3.64	0.78	34.77	11.13	4.46	1.39	1.12	0.19	29.55	7.96	15.51	4.76	16.06	4.67	85.76	23.38	341.8	173.5	1.90	0.25	5.61	0.59	0.54	0.05	63.7	14.5	62.3	16.8	54.1	15.0	50.1	15.3	14.9	6.30		
gni	b	86	54	41.13	22.26	2.57	0.56	15.90	7.81	4.18	1.79	0.82	0.19	21.88	8.17	9.90	3.37	12.07	5.22	63.20	23.31	171.3	112.9	2.16	0.25	6.34	0.57	0.54	0.06	63.8	15.1	64.3	14.6	47.2	17.6	41.0	12.4	12.0	5.77		
gni	c	12								4.99	1.83	1.00	0.12	25.81	6.59	11.72	2.26	16.45	4.71	75.88	19.11	215.7	76.39	2.14	0.28	6.42	0.71	0.63	0.05	77.2	7.01	81.2	6.71	32.3	8.49	34.8	8.72	12.3	5.25		
hom	a	219	46	45.69	23.78	2.54	0.98	18.30	8.02	7.76	2.60	0.80	0.15	32.67	8.93	16.09	4.80	20.34	6.07	99.74	28.12	371.2	178.3	2.02	0.20	6.25	0.48	0.62	0.07	68.4	14.8	68.6	14.7	35.8	11.8	35.9	17.7	15.1	6.55		
jab	a	36	17	80.35	56.00	2.66	0.60	25.79	11.65	5.32	1.80	1.03	0.17	28.01	7.50	13.96	3.77	16.07	4.45	81.72	21.42	284.4	139.2	2.01	0.27	5.92	0.69	0.57	0.06	64.5	16.1	67.2	16.3	42.8	13.7	42.5	19.6	11.5	4.58		
jab	b	54	56	26.46	15.68	2.41	0.58	10.53	5.19	4.88	1.26	0.85	0.10	26.46	5.43	11.22	2.18	15.44	3.41	75.48	15.37	217.0	77.63	2.34	0.30	6.75	0.71	0.58	0.05	68.8	14.0	67.4	15.0	40.5	10.0	35.2	8.04	12.9	4.55		
jab	c	34								5.60	2.38	0.88	0.14	26.69	7.96	12.60	3.06	16.15	5.21	78.65	25.06	243.6	122.0	2.07	0.18	6.17	0.64	0.60	0.04	73.4	10.9	73.3	11.1	33.7	8.15	31.5	4.71	13.0	8.52		
lek	a	21	8	76.15	34.18	3.24	1.09	23.68	8.07	4.57	0.82	0.92	0.30	29.34	4.27	13.68	2.42	16.29	3.35	87.14	11.68	281.4	85.94	2.06	0.18	6.44	0.61	0.55	0.06	68.4	11.8	68.1	14.8	42.0	7.21	45.0	6.17	17.8	6.39		
lek	b	16	19	34.44	11.56	2.73	1.12	13.44	4.16	4.14	0.73	0.65	0.12	22.65	1.91	10.37	1.33	13.10	2.05	66.76	6.56	168.0	32.42	2.14	0.21	6.49	0.60	0.58	0.06	72.4	11.8	75.7	12.1	43.1	7.03	35.7	7.05	12.0	5.07		
lek	c	31								3.08	1.09	0.61	0.08	16.54	3.31	8.10	1.42	9.87	2.06	49.18	10.55	99.44	30.67	2.01	0.23	6.06	0.58	0.60	0.05	76.1	10.1	72.9	10.8	39.2	9.15	35.1	5.82	9.32	4.25		
les	a	166	53	56.77	31.74	3.24	0.89	17.70	8.15	5.47	1.59	0.95	0.11	28.99	5.37	12.22	1.84	16.38	3.85	81.65	13.99	251.4	73.51	2.36	0.34	6.71	0.87	0.56	0.06	57.8	17.3	57.3	15.3	38.2	11.7	36.2	11.9	12.0	4.23		
les	b	67	31	21.83	6.95	2.97	0.78	7.61	2.40	5.14	2.04	0.81	0.09	25.05	5.68	9.79	1.90	14.75	4.16	70.22	16.34	178.4	60.79	2.53	0.30	7.14	0.88	0.58	0.06	59.3	16.4	58.2	15.1	32.7	10.0	31.7	10.3	10.1	3.65		
les	c	232								5.19	1.45	0.89	0.15	25.58	5.21	10.18	2.04	15.97	3.43	71.23	14.13	188.1	66.09	2.51	0.33	7.05	0.82	0.62	0.06	64.3	16.1	65.0	15.4	30.0	11.2	28.6	8.53	9.79	3.68		

POPULACJA	TYP PĘDU	LICZBA LIŚCI	LICZBA PĘDÓW	BR_L (długość pędu)		BR_W (średnica pędu)		BR_LdW (stosunek długości do średnicy pędu)		PT_L (długość ogonka)		PT_W (średnica ogonka)		BL_L (długość blaszki)		BL_W (szerokość blaszki)		BL_N (odległość najszerszej części blaszki od nasady)		BL_P (obwód blaszki)		AREA (powierzchnia blaszki)		BL_LdW (stosunek długości blaszki do szerokości)		BL_PdW (stosunek obwodu blaszki do jej szerokości)		BL_NdL (względne porównanie najszerszego miejsca blaszki)		ANGLT (główny lewy kąt blaszki)		ANGRT (główny prawy kąt blaszki)		ANGLB (dolny lewy kąt blaszki)		ANGRB (dolny prawy kąt blaszki)		EdgeOnt (wykryta liczba ząbków)	
				Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd
lig	a	47	19	128.4	115.1	4.19	1.75	27.05	16.22	5.32	1.57	1.13	0.27	32.35	7.15	16.21	3.92	17.48	4.16	92.39	19.12	372.8	195.6	1.99	0.28	5.78	0.68	0.54	0.07	62.1	16.0	61.3	16.7	46.4	13.7	44.4	14.0	12.3	4.56
lig	b	21	24	48.68	22.74	4.34	0.87	11.25	4.77	4.41	1.13	1.09	0.15	27.53	3.40	12.66	1.82	13.82	2.11	76.02	9.88	239.2	56.50	2.16	0.14	6.02	0.26	0.50	0.06	56.2	16.5	57.3	13.5	41.5	8.14	40.7	9.06	10.1	2.99
lig	c	61								4.89	1.42	1.04	0.18	30.36	5.09	12.82	2.03	18.94	3.74	84.14	13.92	275.3	82.29	2.35	0.23	6.57	0.53	0.62	0.04	64.3	14.1	62.8	15.8	31.9	9.65	30.7	7.79	11.9	4.31
lip	a	56	29	118.7	112.2	3.48	1.70	24.53	14.88	7.42	3.43	1.30	0.22	42.23	14.67	20.15	5.56	25.95	10.14	122.3	40.77	623.9	370.4	2.03	0.29	6.03	0.84	0.61	0.06	73.9	14.2	71.3	14.3	44.1	12.4	38.1	10.9	18.8	6.90
lip	b	95	65	40.09	21.44	3.25	0.66	12.13	5.72	6.98	2.70	1.03	0.12	34.04	9.00	15.54	3.32	21.23	6.66	101.0	25.98	380.9	161.9	2.13	0.25	6.48	0.69	0.62	0.05	76.4	11.8	76.3	9.69	36.2	10.8	36.2	8.68	17.9	5.97
lip	c	53								9.26	3.86	1.14	0.16	40.52	11.36	17.93	3.81	26.22	8.78	121.6	34.65	501.8	212.6	1.18	0.26	6.70	0.78	0.64	0.05	77.8	9.16	76.2	10.1	30.7	12.9	28.2	6.71	21.7	8.18
mys	a	12	4	196.9	168.6	3.39	1.94	49.35	25.72	7.45	1.93	0.80	0.10	44.26	3.81	21.85	2.89	26.42	3.12	130.8	11.92	632.4	126.8	1.97	0.25	6.04	0.67	0.60	0.04	70.3	16.7	68.0	15.5	53.6	40.3	39.9	12.2	23.7	4.45
mys	b	5	4	28.66	3.90	2.41	0.38	12.19	2.78	3.80	0.57	0.71	0.05	32.98	4.44	13.31	1.77	20.70	3.48	90.68	11.28	289.1	56.40	2.44	0.30	6.84	0.60	0.63	0.05	60.7	14.1	64.0	10.2	27.3	5.09	44.1	14.8	15.4	5.37
mys	c	9								5.93	2.38	0.71	0.10	31.23	7.59	15.34	4.48	19.37	4.56	91.02	24.59	340.6	160.2	2.05	0.22	5.99	0.43	0.62	0.05	69.6	8.54	73.6	11.5	36.5	14.8	38.2	8.59	13.6	4.92
nit	a	15	2	181.3	7.20	4.33	0.18	41.94	3.42	7.30	1.75	1.04	0.18	44.53	4.09	19.02	2.97	25.58	2.73	125.7	10.03	572.4	118.0	2.32	0.39	6.70	0.76	0.58	0.08	59.2	20.4	60.1	23.5	48.0	11.7	49.4	14.0	19.8	6.29
nit	b	23	10	30.84	20.65	3.21	0.68	8.80	5.00	7.32	1.46	0.75	0.10	37.03	4.45	12.73	1.75	21.15	3.09	102.3	11.23	323.0	71.44	2.89	0.35	8.11	0.84	0.57	0.05	57.6	19.6	58.9	18.4	32.2	8.45	32.4	8.36	15.4	4.87
ola	a	53	14	133.3	88.68	5.15	1.70	21.90	9.39	6.06	1.03	1.25	0.12	35.04	4.59	14.43	2.63	20.83	2.98	96.96	12.71	357.0	94.50	2.43	0.28	6.80	0.66	0.60	0.04	67.6	11.7	63.5	14.5	43.1	10.0	39.7	12.1	15.1	4.95
ola	b	6	14	35.05	11.43	3.23	0.67	11.65	5.55	4.14	1.12	0.85	0.09	25.00	6.86	9.51	2.75	13.79	4.49	68.19	17.78	183.2	95.44	2.62	0.33	7.23	0.73	0.55	0.04	76.6	11.6	63.0	12.7	43.8	14.8	33.8	12.8	7.28	3.33
ola	c	23								5.58	2.28	1.05	0.13	27.35	6.22	10.16	1.85	17.12	4.47	75.02	17.74	200.7	80.07	2.67	0.22	7.33	0.53	0.62	0.05	67.5	13.1	64.8	11.8	29.1	16.1	31.7	11.7	10.6	3.50
otr	a	33	12	35.51	10.65	2.64	0.48	13.52	3.10	4.18	1.16	0.95	0.14	23.79	3.69	10.54	1.88	14.14	2.73	65.68	9.43	184.3	53.01	2.24	0.21	6.28	0.47	0.59	0.05	75.9	9.03	74.9	9.74	45.7	22.3	41.8	19.0	9.03	4.47
otr	c	72								3.89	1.31	0.81	0.14	20.07	4.13	8.77	1.44	12.28	2.67	55.97	10.55	130.7	41.76	2.27	0.30	6.40	0.73	0.61	0.04	75.9	9.56	76.9	10.1	37.8	12.8	34.2	10.2	7.74	3.06
otz	a	71	19	161.0	95.45	4.26	0.93	33.38	16.03	5.13	1.36	1.11	0.14	27.65	4.04	14.02	2.16	15.15	2.82	80.16	11.63	282.1	76.83	1.96	0.26	5.76	0.60	0.55	0.05	70.2	14.6	67.9	14.3	49.9	14.1	49.0	14.6	12.3	4.08
otz	b	79	41	34.73	18.21	3.90	0.85	9.28	5.49	5.05	1.18	0.97	0.14	25.05	4.54	11.46	2.17	14.59	3.27	72.06	12.43	214.0	72.92	2.18	0.27	6.34	0.62	0.58	0.06	71.5	13.6	70.0	14.8	42.3	10.5	39.6	10.1	10.8	3.33
otz	c	78								5.76	1.62	1.00	0.12	27.88	6.64	12.58	2.43	17.51	4.66	79.58	17.33	256.3	94.28	2.20	0.28	6.33	0.64	0.63	0.04	76.3	9.95	75.2	8.91	36.3	10.4	34.0	10.6	11.3	4.14
pia	a	33	17	169.6	76.14	3.02	0.79	55.31	19.54	4.98	1.64	1.04	0.17	34.57	8.22	17.01	3.38	18.81	5.31	98.69	21.79	410.9	169.9	1.96	0.21	5.80	0.52	0.54	0.06	61.2	18.9	60.1	16.9	47.9	14.8	47.4	12.8	17.2	6.59
pia	b	52	35	31.21	17.32	2.16	0.59	14.08	6.84	4.94	1.58	0.82	0.10	28.59	4.67	12.68	2.16	17.24	3.27	83.43	13.75	251.9	72.80	2.20	0.18	6.60	0.53	0.60	0.05	67.8	14.1	73.3	12.8	36.3	11.2	33.1	8.64	17.1	4.25
pia	c	3								1.38	0.28	0.61	0.03	11.39	2.71	5.83	1.63	5.50	1.38	31.63	7.16	50.56	23.46	1.95	0.17	5.48	0.30	0.49	0.09	63.3	2.68	64.1	22.7	47.9	10.7	40.1	7.04	6.00	3.00
pib	a	26	8	173.7	33.66	4.00	0.80	44.15	8.61	7.16	1.42	1.12	0.16	46.03	6.57	23.10	3.73	27.02	5.66	134.6	17.75	731.8	210.1	1.97	0.25	5.90	0.67	0.58	0.06	62.1	15.9	58.2	19.4	49.7	13.6	42.5	10.9	21.1	4.98
pib	b	13	9	32.08	8.55	2.90	0.20	11.25	3.59	7.40	1.77	0.81	0.12	36.38	6.09	16.26	3.24	22.36	4.30	106.7	17.64	408.1	145.8	2.20	0.20	6.62	0.58	0.61	0.03	70.0	15.9	63.5	17.8	39.1	8.11	29.6	6.79	18.2	3.30
pib	c	21								7.61	1.86	0.83	0.14	38.50	7.55	16.79	4.04	24.95	6.15	111.8	22.89	448.5	190.4	2.27	0.22	6.74	0.51	0.64	0.05	72.6	12.7	72.1	14.6	31.9	9.36	30.3	8.08	20.5	4.39
pry	a	10	5	75.38	51.57	4.04	1.40	17.06	6.40	6.23	2.59	0.78	0.12	34.47	4.40	15.15	2.81	21.11	3.81	98.73	11.02	354.5	91.56	2.28	0.45	6.69	1.22	0.61	0.08	67.1	17.2	60.7	16.3	22.6	53.8	40.8	16.5	4.99	
pry	b	4	9	24.39	10.27	3.45	1.16	9.00	5.83	3.99	0.97	0.62	0.16	27.97	3.20	15.03	1.41	13.57	2.90	81.72	10.49	303.5	55.69	1.81	0.07	5.42	0.25	0.48	0.05	59.6	17.1	76.0	13.2	58.1	9.68	54.0	11.2	11.5	6.35
pry	c	23								5.13	2.47	0.61	0.13	24.52	8.55	10.41	2.75	15.65	6.63	71.64	24.68	186.9	99.78	2.30	0.44	6.81	1.14	0.62	0.08	69.1	15.2	70.3	14.8	34.6	17.1	33.4	14.7	11.7	4.04

POPULACJA	TYP PĘDU	LICZBA LIŚCI	LICZBA PĘDÓW	BR_L (długość pędu)		BR_W (średnica pędu)		BR_LdW (stosunek długości do średnicy pędu)		PT_L (długość ogonka)		PT_W (średnica ogonka)		BL_L (długość blaszki)		BL_W (szerokość blaszki)		BL_N (odległość najszerszej części blaszki od nasady)		BL_P (obwód blaszki)		AREA (powierzchnia blaszki)		BL_LdW (stosunek długości blaszki do szerokości)		BL_PdW (stosunek obwodu blaszki do jej szerokości)		BL_NdL (względne porównanie najszerszego miejsca blaszki)		ANGLT (główny lewy kąt blaszki)		ANGRT (główny prawy kąt blaszki)		ANGLB (dolny lewy kąt blaszki)		ANGRB (dolny prawy kąt blaszki)		EdgeOnt (wykryta liczba ząbków)	
				Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd
pus	a	130	53	121.48	100.13	3.60	1.40	31.01	16.79	7.45	2.03	1.09	0.24	44.13	8.72	19.01	3.94	25.39	5.94	124.68	23.44	576.71	208.18	2.31	0.38	6.66	1.00	0.57	0.05	62.02	17.24	63.59	15.56	38.95	11.77	36.89	10.15	18.56	6.02
pus	b	33	26	29.01	18.27	3.50	0.79	8.09	4.10	5.76	1.68	0.92	0.19	36.42	7.75	15.25	3.02	21.80	5.10	100.99	20.36	381.74	128.82	2.37	0.38	6.66	0.82	0.60	0.05	64.42	13.84	66.25	15.27	31.47	8.77	31.44	8.26	15.33	5.41
pus	c	133								6.10	1.86	0.91	0.18	33.80	6.53	14.67	3.32	20.94	4.43	96.33	19.62	347.56	129.52	2.30	0.30	6.64	0.72	0.62	0.04	71.80	10.93	72.71	12.57	30.09	8.39	29.07	8.33	15.17	5.59
rud	a	48	26	109.36	61.75	3.11	1.14	34.64	14.61	5.25	1.09	1.10	0.19	27.70	6.06	12.92	3.85	15.70	3.87	80.08	16.48	257.65	121.72	2.17	0.35	6.40	0.90	0.57	0.07	59.26	18.85	61.20	15.36	41.21	11.33	45.79	9.34	13.42	4.44
rud	b	78	67	38.91	16.52	2.52	0.56	15.68	6.46	4.52	1.32	0.84	0.12	22.64	4.87	8.43	1.79	12.97	3.53	63.24	12.77	140.66	51.09	2.67	0.40	7.58	1.01	0.57	0.07	56.87	18.44	55.47	18.15	36.98	11.10	39.33	11.38	9.64	3.22
rud	c	17								4.64	1.09	0.84	0.17	24.98	5.02	8.97	2.55	15.18	3.59	69.21	14.29	162.00	66.89	2.86	0.56	7.95	1.27	0.61	0.07	60.22	13.11	58.33	18.66	33.93	12.83	26.49	8.51	9.65	3.10
san	a	6	3	80.09	43.11	2.33	0.65	32.95	8.11	6.59	1.29	0.81	0.05	38.03	6.67	16.84	1.92	24.51	4.26	114.22	19.09	426.57	111.22	2.15	0.24	6.78	0.81	0.64	0.02	69.43	15.82	75.39	9.27	43.32	16.03	37.09	15.77	28.69	9.50
san	b	15	10	33.10	12.87	2.67	1.08	13.59	6.47	5.70	1.35	0.63	0.08	27.99	3.50	11.60	1.91	17.51	2.72	83.67	12.85	220.19	61.99	2.37	0.23	7.25	0.59	0.62	0.04	70.56	12.10	73.10	11.42	35.59	9.44	33.13	8.40	16.93	6.65
san	c	15								4.55	1.49	0.61	0.10	22.29	4.73	9.64	2.12	14.05	3.20	64.61	13.57	151.71	50.50	2.31	0.31	6.77	0.80	0.63	0.05	76.99	10.77	73.57	11.88	31.06	7.01	31.27	7.42	12.03	5.20
sie	a	30	13	133.97	63.59	3.84	0.97	34.42	12.76	6.25	2.10	1.26	0.18	37.27	9.54	17.61	4.72	20.63	6.24	108.30	27.43	463.63	195.00	2.10	0.31	6.23	0.71	0.55	0.07	59.18	18.27	63.77	16.98	43.63	11.23	41.25	11.18	18.33	7.26
sie	b	72	73	37.54	18.54	3.21	0.56	11.51	5.30	6.67	1.64	1.08	0.14	34.55	7.04	14.51	2.73	20.94	5.17	98.41	18.85	354.19	116.72	2.36	0.29	6.81	0.63	0.60	0.05	67.48	15.93	70.23	14.23	38.21	13.53	33.08	8.97	16.88	4.51
sie	c	72								5.83	1.74	1.03	0.16	38.33	8.72	14.28	2.94	24.10	6.28	106.30	24.34	370.56	133.72	2.64	0.28	7.44	0.70	0.62	0.05	70.15	12.34	72.06	13.39	27.34	9.91	24.71	10.55	24.25	9.48
sko	a	19	12	84.28	40.29	2.75	1.03	30.65	11.41	5.14	1.07	0.92	0.12	29.52	6.37	13.92	3.61	16.12	3.81	85.77	18.46	302.01	136.12	2.12	0.28	6.24	0.58	0.55	0.06	58.97	16.30	60.20	20.51	55.91	14.08	46.80	13.29	15.70	5.79
sko	b	42	32	24.63	13.37	2.17	0.47	11.33	6.18	4.44	1.01	0.77	0.12	25.28	5.13	11.16	3.42	14.75	3.02	72.55	15.76	210.84	95.39	2.30	0.32	6.67	0.80	0.58	0.03	71.29	10.90	68.16	16.73	41.19	9.31	38.18	8.29	13.24	4.96
sko	c	22								3.34	1.05	0.72	0.11	19.17	4.32	8.87	1.92	11.52	2.81	55.90	12.87	130.37	53.25	2.14	0.20	6.30	0.47	0.60	0.04	66.45	15.26	70.33	12.73	38.96	6.44	39.27	6.92	11.18	4.69
skw	a	12	15	56.54	49.14	2.16	0.63	25.20	18.28	4.82	1.09	0.98	0.11	31.96	8.60	13.29	3.61	17.65	5.13	86.67	23.49	309.14	135.72	2.41	0.44	6.60	0.88	0.56	0.09	63.81	13.72	58.79	18.04	49.83	18.13	38.66	10.62	13.99	6.17
skw	b	26	19	27.70	12.34	2.30	0.53	12.38	6.24	3.49	0.76	0.75	0.08	21.58	3.30	8.07	1.28	13.27	1.97	58.59	9.09	130.83	37.18	2.65	0.21	7.27	0.49	0.62	0.05	70.16	17.15	72.15	16.73	33.58	8.03	31.30	8.42	8.81	2.51
skw	c	41								4.25	1.74	0.85	0.13	25.84	6.80	10.12	2.58	16.38	4.83	70.49	18.60	192.90	92.61	2.52	0.23	6.97	0.46	0.63	0.06	72.79	9.79	76.82	10.89	28.29	7.49	27.23	6.42	10.83	4.13
smi	a	119	36	179.12	110.25	4.78	1.74	35.54	13.49	6.88	2.39	1.18	0.22	42.60	11.97	19.59	4.75	24.97	8.21	121.15	32.92	588.52	278.72	2.15	0.33	6.20	0.88	0.58	0.06	66.23	13.97	64.64	14.44	44.99	16.14	42.47	13.44	18.33	9.01
smi	b	38	20	30.86	19.68	3.26	0.78	10.15	5.61	6.69	1.77	0.95	0.16	32.52	8.39	13.43	3.35	19.41	6.73	93.52	23.72	311.48	151.62	2.40	0.27	6.99	0.63	0.59	0.07	71.38	14.67	68.19	13.59	36.04	14.99	36.02	12.04	14.87	5.79
smi	c	36								6.99	1.67	1.07	0.18	41.35	10.59	15.69	3.86	26.73	7.81	112.72	27.52	440.11	191.32	2.60	0.23	7.19	0.51	0.64	0.05	74.59	9.81	71.26	11.36	26.44	7.83	26.69	9.71	17.06	5.87
sro	a	33	12	101.99	80.37	3.68	1.14	25.16	13.39	5.91	1.87	1.10	0.16	32.08	6.45	15.38	2.48	18.82	4.29	95.57	17.10	333.66	104.12	2.04	0.22	6.23	0.55	0.59	0.05	69.53	14.32	64.63	13.89	39.01	9.56	42.94	11.42	18.25	5.50
sro	b	28	14	32.85	9.84	4.39	1.01	7.56	2.13	5.29	1.49	0.89	0.11	25.30	2.85	11.81	1.64	15.08	2.21	75.66	9.54	205.33	49.99	2.11	0.15	6.43	0.38	0.60	0.05	75.08	12.27	71.97	12.65	38.40	7.47	36.89	9.17	15.05	5.03
sro	c	50								5.72	1.87	0.93	0.11	26.86	6.58	12.43	2.59	16.84	4.78	79.39	19.39	233.74	91.48	2.14	0.30	6.40	0.78	0.62	0.05	79.31	7.42	75.67	11.48	36.49	9.55	34.08	11.22	12.68	5.09
sta	a	17	5	54.21	26.53	2.10	0.46	26.07	13.61	4.51	1.86	0.89	0.12	29.42	9.05	11.93	3.32	16.83	5.98	82.74	26.02	261.66	142.92	2.40	0.22	6.89	0.53	0.56	0.05	66.79	17.92	61.23	15.93	38.51	12.24	41.02	11.25	16.38	6.70
sta	b	5	33	29.53	14.76	2.85	1.18	10.95	5.59	4.69	1.96	0.73	0.05	24.48	5.26	8.73	1.69	14.25	3.82	68.52	16.81	154.98	52.69	2.73	0.12	7.79	0.53	0.58	0.04	74.25	15.02	75.48	14.44	29.20	10.44	31.07	7.31	13.42	2.10
sta	c	68								3.90	1.35	0.86	0.10	25.09	6.26	10.89	2.45	14.86	4.05	68.52	17.18	183.35	83.25	2.26	0.25	6.52	0.72	0.59	0.05	71.19	13.28	74.83	10.66	36.51	7.28	33.58	7.57	14.01	6.00
lap	a	151	42	122.63	69.49	4.58	1.20	26.24	11.68	6.56	2.15	1.06	0.17	31.38	9.23	14.81	3.90	18.47	6.67	92.81	24.78	323.77	176.35	2.12	0.39	6.34	0.87	0.58	0.05	59.71	18.77	62.01	17.68	44.54	14.65	40.89	10.96	14.29	4.82

POPULACJA	TYP PĘDU	LICZBA LIŚCI	LICZBA PĘDÓW	BR_L (długość pędu)		BR_W (średnica pędu)		BR_LdW (stosunek długości do średnicy pędu)		PT_L (długość ogonka)		PT_W (średnica ogonka)		BL_L (długość blaszki)		BL_W (szerokość blaszki)		BL_N (odległość najszerszej części blaszki od nasady)		BL_P (obwód blaszki)		AREA (powierzchnia blaszki)		BL_LdW (stosunek długości blaszki do szerokości)		BL_PdW (stosunek obwodu blaszki do jej szerokości)		BL_NdL (względne porównanie najszerszego miejsca blaszki)		ANGLT (główny lewy kąt blaszki)		ANGRT (główny prawy kąt blaszki)		ANGLB (dolny lewy kąt blaszki)		ANGRB (dolny prawy kąt blaszki)		EdgeOnt (wykryta liczba ząbków)	
				Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd
łap	b	72	31	26.26	12.51	3.69	0.89	7.17	2.95	6.20	1.67	0.87	0.11	29.21	7.05	12.61	2.79	17.98	5.39	85.62	20.10	253.8	109.9	2.30	0.40	6.83	0.90	0.61	0.06	61.9	16.1	64.7	15.4	37.9	14.6	34.7	10.7	14.2	5.57
łap	c	40								5.67	2.66	0.91	0.17	30.70	12.12	11.03	3.67	19.62	9.02	83.79	33.82	242.6	180.0	2.73	0.31	7.47	0.82	0.63	0.05	61.2	17.3	66.1	14.2	23.8	6.66	26.0	8.87	10.2	5.01
łun	a	153	25	57.04	57.50	2.41	0.68	19.89	15.14	6.16	4.15	0.99	0.35	30.08	9.03	15.27	5.41	16.54	4.86	89.52	30.64	341.6	209.7	1.99	0.33	5.90	0.70	0.56	0.06	64.9	15.9	64.1	17.0	43.2	16.5	39.8	13.5	12.4	5.24
waw	a	78	36	77.97	48.25	3.07	0.59	25.66	15.83	6.75	1.96	0.99	0.13	44.14	11.16	20.34	3.79	26.62	8.20	127.2	29.06	601.6	206.6	2.10	0.39	6.27	0.88	0.60	0.06	66.6	15.6	68.3	14.8	43.3	14.4	40.4	13.6	23.8	9.12
waw	b	41	24	35.67	13.88	2.60	0.86	14.60	6.12	4.54	1.77	0.79	0.18	28.64	7.97	12.63	3.28	17.50	5.90	83.74	23.75	255.1	116.1	2.19	0.32	6.64	0.86	0.60	0.06	70.7	11.2	69.0	14.0	38.1	10.9	34.2	12.4	17.2	7.53
waw	c	136								6.96	1.99	0.93	0.18	37.47	9.20	16.48	3.48	23.57	6.50	108.7	25.32	415.5	156.9	2.22	0.31	6.60	0.68	0.62	0.04	70.4	12.1	72.2	13.0	32.5	12.0	31.3	11.2	20.4	7.53
wol	a	170	71	106.3	60.38	2.42	0.70	43.15	19.15	6.23	1.63	0.92	0.18	38.45	6.54	17.20	3.84	22.23	4.28	107.9	18.00	441.1	154.2	2.25	0.37	6.39	0.81	0.58	0.06	62.2	16.0	60.6	15.1	35.3	10.8	34.3	9.47	16.7	6.41
wol	b	21	15	26.89	10.34	2.01	0.42	13.48	4.80	6.07	1.76	0.80	0.22	31.96	7.17	14.23	5.19	19.83	4.81	92.25	25.41	315.4	162.5	2.35	0.48	6.75	0.89	0.62	0.03	67.4	13.4	71.5	14.0	29.6	8.63	26.2	5.62	13.8	4.85
wol	c	194								5.42	2.11	0.82	0.14	27.35	7.07	11.46	2.42	17.59	4.78	76.85	19.27	214.4	86.13	2.37	0.43	6.73	1.03	0.64	0.04	71.8	11.3	72.3	11.3	28.1	9.17	26.6	8.31	11.1	4.49
wwa	a	168	19	115.7	71.01	3.22	0.89	33.90	14.49	4.76	1.80	0.93	0.23	32.92	10.62	15.47	4.65	19.62	7.20	92.58	29.52	372.1	205.4	2.12	0.35	6.01	0.78	0.59	0.06	60.9	16.7	62.4	15.4	44.1	16.7	44.6	17.9	12.4	6.46
zie	a	61	23	121.1	55.06	3.20	0.81	37.74	14.57	4.37	1.46	1.16	0.21	34.28	6.45	17.14	3.79	18.87	4.73	95.04	18.68	430.9	170.5	2.00	0.21	5.59	0.47	0.55	0.06	70.4	14.6	68.9	13.4	48.5	16.2	49.8	15.9	13.9	4.68
zie	b	60	35	25.13	14.60	2.48	0.69	10.13	5.84	3.91	1.60	0.96	0.19	27.16	5.24	12.86	2.42	14.96	4.14	74.15	15.04	255.7	88.51	2.10	0.23	5.78	0.50	0.54	0.07	71.3	12.4	68.8	13.5	46.3	14.0	43.2	12.4	9.82	3.53
zie	c	27								4.29	1.68	1.07	0.24	28.63	7.68	14.44	4.01	17.39	5.58	78.96	22.19	311.9	160.4	1.98	0.15	5.48	0.35	0.60	0.06	74.7	10.1	76.6	8.67	38.9	13.2	41.2	12.2	9.74	3.51
zmu	a	12	5	84.74	27.46	2.24	0.34	38.53	14.79	3.55	1.60	0.95	0.14	25.22	6.78	12.52	3.29	14.82	4.83	71.72	19.06	229.0	103.6	2.01	0.39	5.79	0.75	0.58	0.06	66.4	14.6	63.9	14.6	46.6	11.6	41.3	16.3	13.5	5.16
zmu	b	13	37	27.49	16.27	2.64	0.92	10.83	6.94	3.50	0.88	0.83	0.08	20.52	3.60	10.52	1.25	12.15	1.85	61.06	9.39	156.7	36.87	1.91	0.19	5.79	0.38	0.60	0.04	73.6	12.2	71.2	11.1	45.0	10.3	35.8	7.73	12.6	3.91
zmu	c	58								4.29	1.39	0.88	0.12	25.93	6.29	12.24	3.12	16.13	4.12	75.36	18.59	224.5	95.57	2.11	0.27	6.21	0.65	0.62	0.04	71.6	11.2	69.6	14.1	34.3	8.74	30.7	9.39	13.7	5.48
zyw	a	64	26	93.23	39.18	3.43	1.43	29.06	12.11	5.79	2.18	1.22	0.17	36.37	7.05	18.95	3.42	19.66	4.63	105.0	22.11	481.0	173.1	1.89	0.21	5.55	0.55	0.54	0.05	55.6	14.4	57.1	16.1	55.3	12.6	51.8	14.2	17.0	6.94
zyw	b	90	41	29.55	13.53	2.42	0.51	12.49	5.60	4.17	1.89	0.86	0.18	24.11	6.78	11.61	3.64	12.94	4.57	68.58	21.42	211.9	121.3	2.08	0.21	5.94	0.49	0.53	0.05	60.1	16.5	59.0	16.9	46.2	13.3	43.6	10.9	9.78	4.21
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40

Tab. 22. Średnie (Mn) i odchylenia standardowe (Sd) cech fraktalnych dla poszczególnych populacji z podziałem wg typów pędów ostatniego rzędu. a – cechy liści długopędowych, b – cechy liści cierniowych, c – cechy liści krótkopędowych. Puste komórki = brak danych.

POPULACJA	TYP PĘDU	LICZBA LIŚCI	CR0_1		CR0_2		CR0_3		CR0_4		CR4_1		CR4_2		CR4_3		CF0_1		CF0_2		CF0_3		CF0_4		CF4_1		CF4_2		CF4_3			
			Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd
			Cala	a	2492	1.0337	0.0115	1.0388	0.0133	1.0542	0.0219	1.0753	0.0285	1.0727	0.0250	1.1062	0.0121	1.1040	0.0105	1.0308	0.0086	1.0386	0.0099	1.0502	0.0140	1.0602	0.0156	1.0554	0.0136	1.0880	0.0283	1.1329
Cala	b	1350	1.0334	0.0101	1.0468	0.0180	1.0740	0.0289	1.0989	0.0266	1.0934	0.0239	1.1077	0.0104	1.0958	0.0121	1.0306	0.0084	1.0427	0.0129	1.0570	0.0153	1.0637	0.0126	1.0584	0.0111	1.1019	0.0351				
Cala	c	2358	1.0340	0.0091	1.0485	0.0148	1.0757	0.0256	1.1010	0.0242	1.0948	0.0216	1.1073	0.0118	1.0978	0.0121	1.0283	0.0071	1.0397	0.0102	1.0541	0.0144	1.0618	0.0150	1.0570	0.0140	1.0758	0.0240				
Cala pop.		6200	1.0338	0.0103	1.0444	0.0157	1.0670	0.0271	1.0906	0.0291	1.0860	0.0257	1.1068	0.0117	1.1018	0.0114	1.0298	0.0081	1.0400	0.0109	1.0531	0.0147	1.0614	0.0150	1.0565	0.0134	1.0873	0.0282	1.1329	0.0075		
bie	a	209	1.0302	0.0083	1.0377	0.0094	1.0549	0.0167	1.0811	0.0235	1.0764	0.0209	1.1028	0.0067			1.0294	0.0059	1.0390	0.0068	1.0528	0.0117	1.0655	0.0115	1.0594	0.0096	1.1225	0.0092				
bie	b	84	1.0299	0.0084	1.0470	0.0152	1.0804	0.0259	1.1070	0.0181	1.0989	0.0171	1.0959	0.0041			1.0287	0.0062	1.0439	0.0104	1.0586	0.0102	1.0638	0.0067	1.0576	0.0050						
bie	c	725	1.0333	0.0074	1.0480	0.0112	1.0759	0.0214	1.1046	0.0177	1.0966	0.0161	1.0975	0.0087			1.0298	0.0066	1.0423	0.0081	1.0588	0.0121	1.0674	0.0104	1.0614	0.0102						
bor	a	81	1.0289	0.0083	1.0323	0.0133	1.0444	0.0175	1.0629	0.0229	1.0610	0.0194	1.1063	0.0099	1.1063	0.0048	1.0304	0.0048	1.0380	0.0115	1.0508	0.0200	1.0595	0.0186	1.0550	0.0156	1.0752	0.0225				
bor	b	93	1.0293	0.0073	1.0422	0.0166	1.0715	0.0284	1.1001	0.0244	1.0940	0.0229	1.1052	0.0065			1.0284	0.0031	1.0433	0.0107	1.0613	0.0127	1.0662	0.0073	1.0605	0.0057						
bor	c	72	1.0284	0.0077	1.0408	0.0155	1.0659	0.0296	1.0886	0.0279	1.0821	0.0242	1.1067	0.0106	1.0944	0.0070	1.0281	0.0040	1.0392	0.0120	1.0477	0.0115	1.0597	0.0125	1.0551	0.0104						
gad	a	44	1.0188	0.0039	1.0234	0.0048	1.0345	0.0071	1.0507	0.0106	1.0510	0.0094	1.1133	0.0069	1.1006	0.0074	1.0186	0.0027	1.0257	0.0036	1.0347	0.0051	1.0459	0.0078	1.0420	0.0072						
gad	b	18	1.0264	0.0122	1.0357	0.0134	1.0570	0.0182	1.0874	0.0204	1.0840	0.0183	1.1120	0.0092	1.0806	0.0114	1.0172	0.0029	1.0274	0.0041	1.0438	0.0105	1.0637	0.0083	1.0566	0.0069						
gni	a	89	1.0308	0.0069	1.0331	0.0084	1.0454	0.0171	1.0633	0.0217	1.0612	0.0186	1.1026	0.0134			1.0336	0.0060	1.0407	0.0083	1.0508	0.0099	1.0624	0.0117	1.0574	0.0104	0.0120					
gni	b	86	1.0345	0.0089	1.0557	0.0232	1.0870	0.0311	1.1039	0.0204	1.0972	0.0180	1.1074	0.0088			1.0364	0.0077	1.0553	0.0173	1.0622	0.0177	1.0701	0.0134	1.0638	0.0115						
gni	c	12	1.0256	0.0100	1.0409	0.0090	1.0741	0.0184	1.1050	0.0116	1.0947	0.0133	1.1003	0.0009			1.0290	0.0033	1.0418	0.0100	1.0512	0.0104	1.0675	0.0060	1.0619	0.0058						
hom	a	219	1.0465	0.0096	1.0509	0.0133	1.0680	0.0230	1.0881	0.0253	1.0859	0.0204	1.1114	0.0070	1.0983		1.0351	0.0059	1.0424	0.0085	1.0530	0.0126	1.0630	0.0116	1.0588	0.0114	1.1291					
jab	a	36	1.0280	0.0077	1.0381	0.0141	1.0571	0.0230	1.0812	0.0244	1.0764	0.0218	1.1047	0.0091	1.0951		1.0283	0.0064	1.0400	0.0100	1.0515	0.0098	1.0637	0.0112	1.0583	0.0100						
jab	b	54	1.0306	0.0092	1.0442	0.0136	1.0738	0.0242	1.1043	0.0207	1.0972	0.0189	1.1043	0.0123			1.0291	0.0062	1.0420	0.0112	1.0589	0.0130	1.0673	0.0082	1.0619	0.0063						
jab	c	34	1.0304	0.0083	1.0402	0.0096	1.0633	0.0200	1.0915	0.0225	1.0852	0.0198	1.1089	0.0127	1.0916	0.0026	1.0275	0.0084	1.0368	0.0084	1.0503	0.0106	1.0552	0.0068	1.0505	0.0061						
lek	a	21	1.0438	0.0163	1.0446	0.0151	1.0635	0.0248	1.0896	0.0298	1.0866	0.0280	1.1048	0.0046			1.0458	0.0176	1.0487	0.0143	1.0618	0.0187	1.0662	0.0124	1.0626	0.0126						
lek	b	16	1.0397	0.0129	1.0519	0.0129	1.0863	0.0231	1.1178	0.0114	1.1099	0.0110					1.0382	0.0135	1.0492	0.0111	1.0696	0.0056										
lek	c	31	1.0403	0.0116	1.0668	0.0228	1.1071	0.0146	1.1178	0.0077	1.1102	0.0077					1.0390	0.0126	1.0583	0.0118	1.0721	0.0125			1.1271							
les	a	166	1.0309	0.0068	1.0416	0.0090	1.0666	0.0182	1.1007	0.0211	1.0946	0.0194	1.1029	0.0099			1.0277	0.0069	1.0394	0.0090	1.0572	0.0137	1.0711	0.0123	1.0637	0.0105						
les	b	67	1.0370	0.0058	1.0607	0.0172	1.0975	0.0217	1.1246	0.0120	1.1172	0.0121	1.0922	0.0102			1.0293	0.0083	1.0443	0.0128	1.0680	0.0178	1.0725	0.0043	1.0642	0.0040						
les	c	232	1.0356	0.0091	1.0572	0.0178	1.0936	0.0259	1.1199	0.0177	1.1127	0.0169	1.1002	0.0101			1.0253	0.0039	1.0403	0.0097	1.0623	0.0132	1.0700	0.0081	1.0625	0.0073						
lig	a	47	1.0293	0.0087	1.0347	0.0105	1.0477	0.0162	1.0688	0.0248	1.0661	0.0227	1.1018	0.0096	1.1095		1.0295	0.0065	1.0388	0.0079	1.0518	0.0099	1.0678	0.0123	1.0611	0.0104	1.0724					
lig	b	21	1.0304	0.0073	1.0432	0.0098	1.0657	0.0176	1.0954	0.0204	1.0888	0.0183	1.1045	0.0071			1.0305	0.0044	1.0453	0.0077	1.0647	0.0123	1.0733	0.0098	1.0659	0.0087						
lig	c	61	1.0307	0.0081	1.0413	0.0106	1.0625	0.0171	1.0937	0.0203	1.0892	0.0181	1.1032	0.0106	1.0883		1.0246	0.0057	1.0337	0.0064	1.0478	0.0095	1.0643	0.0105	1.0583	0.0092						
lip	a	56	1.0284	0.0078	1.0287	0.0064	1.0356	0.0076	1.0477	0.0130	1.0484	0.0114	1.0998	0.0142	1.1064	0.0089	1.0286	0.0053	1.0318	0.0058	1.0388	0.0081	1.0497	0.0155	1.0463	0.0134	1.0827	0.0326				
lip	b	95	1.0327	0.0056	1.0356	0.0055	1.0495	0.0124	1.0717	0.0202	1.0698	0.0171	1.1103	0.0080	1.1031	0.0096	1.0305	0.0045	1.0344	0.0053	1.0449	0.0105	1.0551	0.0120	1.0517	0.0102	1.0620					
lip	c	53	1.0335	0.0076	1.0367	0.0071	1.0473	0.0118	1.0634	0.0168	1.0621	0.0145	1.1116	0.0077	1.1054	0.0117	1.0301	0.0055	1.0320	0.0053	1.0388	0.0083	1.0462	0.0109	1.0441	0.0093	1.0658	0.0044				
mys	a	12	1.0474	0.0159	1.0434	0.0157	1.0464	0.0145	1.0540	0.0150	1.0552	0.0151	1.1064	0.0160	1.1047	0.0077	1.0423	0.0100	1.0434	0.0120	1.0477	0.0148	1.0536	0.0160	1.0506	0.0151	1.1204	0.0623	1.1340			

POPULACJA	TYP PEDU	LICZBA LISCI	CR0_1		CR0_2		CR0_3		CR0_4		CR4_1		CR4_2		CR4_3		CF0_1		CF0_2		CF0_3		CF0_4		CF4_1		CF4_2		CF4_3			
			Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd
mys	b	5	1.0463	0.0079	1.0536	0.0073	1.0737	0.0088	1.1029	0.0147	1.0998	0.0125	1.1082	0.0079				1.0355	0.0056	1.0408	0.0037	1.0578	0.0082	1.0738	0.0062	1.0687	0.0042					
mys	c	9	1.0316	0.0071	1.0414	0.0197	1.0569	0.0304	1.0735	0.0272	1.0712	0.0237	1.1048	0.0043				1.0277	0.0040	1.0365	0.0120	1.0412	0.0058	1.0534	0.0102	1.0492	0.0089					
nit	a	15	1.0486	0.0101	1.0483	0.0064	1.0571	0.0078	1.0724	0.0135	1.0744	0.0127	1.1269	0.0082	1.0934	0.0095		1.0425	0.0117	1.0474	0.0076	1.0554	0.0054	1.0644	0.0058	1.0599	0.0066					
nit	b	23	1.0414	0.0072	1.0520	0.0112	1.0773	0.0188	1.1097	0.0229	1.1055	0.0209	1.1120	0.0135	1.0901			1.0292	0.0045	1.0388	0.0056	1.0518	0.0061	1.0703	0.0114	1.0638	0.0093					
ola	a	53	1.0260	0.0056	1.0323	0.0066	1.0513	0.0144	1.0793	0.0230	1.0767	0.0198	1.1108	0.0074	1.0884			1.0239	0.0034	1.0315	0.0036	1.0456	0.0099	1.0625	0.0122	1.0567	0.0101					
ola	b	6	1.0313	0.0037	1.0546	0.0133	1.1005	0.0290	1.1194	0.0230	1.1122	0.0196	1.1050	0.0068				1.0261	0.0027	1.0454	0.0113	1.0614	0.0131	1.0734	0.0126	1.0663	0.0109					
ola	c	23	1.0337	0.0092	1.0559	0.0121	1.0951	0.0183	1.1225	0.0125	1.1154	0.0111	1.1007	0.0169	1.0874			1.0226	0.0037	1.0385	0.0096	1.0615	0.0149	1.0667	0.0069	1.0654	0.0231					
otr	a	33	1.0295	0.0113	1.0456	0.0119	1.0844	0.0223	1.1123	0.0166	1.1053	0.0156	1.0879	0.0035				1.0240	0.0051	1.0404	0.0070	1.0622	0.0122	1.0640	0.0062	1.0565	0.0058					
otr	c	72	1.0313	0.0072	1.0586	0.0135	1.1040	0.0162	1.1193	0.0092	1.1119	0.0084						1.0254	0.0038	1.0476	0.0107	1.0675	0.0075	1.0873	0.0302	1.0766	0.0261					
otz	a	71	1.0234	0.0059	1.0284	0.0077	1.0443	0.0135	1.0736	0.0214	1.0699	0.0187	1.1025	0.0053				1.0251	0.0044	1.0356	0.0062	1.0520	0.0110	1.0641	0.0085	1.0581	0.0077					
otz	b	79	1.0278	0.0079	1.0394	0.0131	1.0693	0.0249	1.1014	0.0216	1.0953	0.0200	1.1024	0.0098				1.0254	0.0050	1.0395	0.0101	1.0596	0.0141	1.0605	0.0100	1.0584	0.0186					
otz	c	78	1.0255	0.0070	1.0364	0.0103	1.0618	0.0183	1.0939	0.0214	1.0889	0.0194	1.1073	0.0110				1.0205	0.0032	1.0318	0.0060	1.0491	0.0115	1.0586	0.0108	1.0544	0.0133					
pia	a	33	1.0391	0.0116	1.0387	0.0101	1.0469	0.0108	1.0628	0.0177	1.0623	0.0147	1.1099	0.0092	1.1043	0.0044		1.0390	0.0107	1.0433	0.0108	1.0523	0.0136	1.0625	0.0134	1.0579	0.0120					
pia	b	52	1.0434	0.0111	1.0497	0.0110	1.0700	0.0177	1.1000	0.0184	1.0949	0.0167	1.1062	0.0074				1.0394	0.0101	1.0446	0.0084	1.0590	0.0111	1.0729	0.0075	1.0676	0.0071					
pia	c	3	1.0513	0.0021	1.1009	0.0234	1.1283											1.0595	0.0059	1.0794												
pib	a	26	1.0356	0.0105	1.0338	0.0112	1.0372	0.0128	1.0445	0.0160	1.0463	0.0144	1.0958	0.0190	1.1044	0.0066		1.0344	0.0098	1.0361	0.0102	1.0417	0.0120	1.0488	0.0137	1.0461	0.0127	1.0600	0.0029			
pib	b	13	1.0402	0.0113	1.0413	0.0122	1.0529	0.0157	1.0743	0.0242	1.0732	0.0218	1.1122	0.0091	1.1000	0.0075		1.0347	0.0097	1.0381	0.0109	1.0475	0.0130	1.0624	0.0179	1.0578	0.0161					
pib	c	21	1.0409	0.0075	1.0441	0.0125	1.0578	0.0219	1.0772	0.0292	1.0774	0.0263	1.1120	0.0058	1.1035	0.0066		1.0307	0.0050	1.0341	0.0075	1.0437	0.0151	1.0497	0.0134	1.0466	0.0113					
pry	a	10	1.0409	0.0177	1.0465	0.0224	1.0607	0.0282	1.0837	0.0365	1.0816	0.0319	1.1069	0.0107				1.0302	0.0059	1.0383	0.0094	1.0503	0.0144	1.0677	0.0201	1.0625	0.0165					
pry	b	4	1.0320	0.0024	1.0311	0.0011	1.0410	0.0047	1.0621	0.0135	1.0625	0.0115	1.1022	0.0001				1.0328	0.0037	1.0386	0.0014	1.0534	0.0059	1.0685	0.0068	1.0630	0.0062					
pry	c	23	1.0424	0.0078	1.0614	0.0164	1.0940	0.0228	1.1168	0.0140	1.1110	0.0125	1.1071	0.0144				1.0310	0.0069	1.0440	0.0104	1.0639	0.0233	1.0676	0.0076	1.0624	0.0070					
pus	a	130	1.0330	0.0092	1.0358	0.0114	1.0453	0.0163	1.0597	0.0231	1.0593	0.0213	1.1086	0.0159	1.1048	0.0120		1.0296	0.0065	1.0340	0.0072	1.0416	0.0094	1.0519	0.0127	1.0484	0.0111	1.0755	0.0199	1.1214		
pus	b	33	1.0341	0.0094	1.0408	0.0137	1.0568	0.0216	1.0782	0.0258	1.0751	0.0234	1.1136	0.0090	1.0828	0.0183		1.0279	0.0068	1.0338	0.0066	1.0440	0.0089	1.0584	0.0119	1.0537	0.0104					
pus	c	133	1.0379	0.0097	1.0445	0.0129	1.0618	0.0225	1.0839	0.0287	1.0817	0.0262	1.1097	0.0085	1.0919	0.0045		1.0282	0.0058	1.0341	0.0061	1.0457	0.0119	1.0560	0.0122	1.0518	0.0103					
rud	a	48	1.0324	0.0087	1.0416	0.0130	1.0634	0.0259	1.0873	0.0298	1.0829	0.0270	1.1071	0.0063				1.0334	0.0089	1.0442	0.0112	1.0586	0.0150	1.0631	0.0131	1.0573	0.0115					
rud	b	78	1.0393	0.0106	1.0713	0.0245	1.1136	0.0223	1.1284	0.0118	1.1205	0.0109	1.0873	0.0084				1.0351	0.0118	1.0573	0.0186	1.0739	0.0110	1.0765	0.0090	1.0688	0.0088					
rud	c	17	1.0288	0.0079	1.0538	0.0215	1.0841	0.0267	1.1117	0.0161	1.1008	0.0161	1.0914	0.0086				1.0283	0.0057	1.0449	0.0147	1.0523	0.0092	1.0710	0.0075	1.0644	0.0065					
san	a	6	1.0442	0.0080	1.0417	0.0064	1.0502	0.0062	1.0671	0.0109	1.0663	0.0102	1.1142	0.0090	1.0991			1.0420	0.0063	1.0409	0.0046	1.0468	0.0045	1.0585	0.0099	1.0565	0.0075					
san	b	15	1.0460	0.0084	1.0558	0.0136	1.0843	0.0241	1.1154	0.0198	1.1093	0.0182	1.1032	0.0033				1.0383	0.0071	1.0455	0.0087	1.0639	0.0134	1.0719	0.0074	1.0663	0.0058					
san	c	15	1.0433	0.0096	1.0660	0.0264	1.0973	0.0246	1.1183	0.0148	1.1118	0.0155	1.0931				1.0326	0.0102	1.0473	0.0168	1.0634	0.0079	1.0725		1.0657							
sie	a	30	1.0364	0.0167	1.0405	0.0152	1.0534	0.0201	1.0691	0.0279	1.0677	0.0243	1.1086	0.0107	1.1009	0.0141		1.0332	0.0069	1.0397	0.0087	1.0505	0.0143	1.0556	0.0114	1.0519	0.0096	1.1027		1.1445		
sie	b	72	1.0322	0.0053	1.0390	0.0085	1.0558	0.0155	1.0798	0.0222	1.0774	0.0196	1.1110	0.0097	1.0908	0.0100		1.0275	0.0041	1.0336	0.0058	1.0453	0.0119	1.0579	0.0124	1.0535	0.0106					
sie	c	72	1.0264	0.0062	1.0404	0.0079	1.0601	0.0147	1.0836	0.0189	1.0766	0.0169	1.1166	0.0078	1.0888	0.0102		1.0239	0.0044	1.0301	0.0053	1.0405	0.0104	1.0520	0.0123	1.0486	0.0104	1.1183				
sko	a	19	1.0336	0.0090	1.0378	0.0107	1.0577	0.0247	1.0816	0.0312	1.0785	0.0269	1.1052	0.0069	1.0966			1.0344	0.0108	1.0432	0.0121	1.0579	0.0173	1.0668	0.0109	1.0621	0.0105					
sko	b	42	1.0327	0.0064	1.0466	0.0110	1.0831	0.0276	1.1089	0.0269	1.1022	0.0239	1.1032	0.0059				1.0312	0.0062	1.0428	0.0073	1.0630	0.0130	1.0682	0.0100	1.0633	0.0090	1.1218	0.0085			
sko	c	22	1.0283	0.0056	1.0529	0.0147	1.0985	0.0237	1.1139	0.0096	1.1043	0.0092	1.0901				1.0320	0.0057	1.0538	0.0135	1.0643	0.0090	1.0712		1.0667							

POPULACJA	TYP PEDU	LICZBA LIŚCI	CR0_1		CR0_2		CR0_3		CR0_4		CR4_1		CR4_2		CR4_3		CF0_1		CF0_2		CF0_3		CF0_4		CF4_1		CF4_2		CF4_3			
			Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd	Mn	Sd
skw	a	12	1.0338	0.0066	1.0409	0.0114	1.0586	0.0231	1.0798	0.0261	1.0775	0.0231	1.1160	0.0071	1.0848			1.0304	0.0041	1.0400	0.0086	1.0517	0.0123	1.0640	0.0069	1.0585	0.0059					
skw	b	26	1.0398	0.0071	1.0755	0.0191	1.1224	0.0150	1.1280	0.0093	1.1216	0.0080						1.0296	0.0041	1.0530	0.0128	1.0738	0.0050	1.0699		1.0633						
skw	c	41	1.0334	0.0064	1.0559	0.0146	1.0949	0.0257	1.1184	0.0165	1.1091	0.0144	1.1043	0.0147				1.0266	0.0040	1.0429	0.0123	1.0590	0.0143	1.0647	0.0122	1.0573	0.0096					
smi	a	119	1.0242	0.0071	1.0256	0.0076	1.0331	0.0105	1.0461	0.0169	1.0464	0.0152	1.1003	0.0164	1.1064	0.0097		1.0242	0.0052	1.0286	0.0054	1.0363	0.0087	1.0451	0.0109	1.0421	0.0094	1.0694	0.0187			
smi	b	38	1.0276	0.0071	1.0379	0.0120	1.0609	0.0240	1.0885	0.0286	1.0840	0.0250	1.1096	0.0102	1.0984	0.0070		1.0243	0.0055	1.0350	0.0096	1.0507	0.0155	1.0620	0.0152	1.0564	0.0123					
smi	c	36	1.0324	0.0058	1.0431	0.0085	1.0643	0.0199	1.0846	0.0221	1.0836	0.0193	1.1215	0.0082	1.0957	0.0129		1.0202	0.0042	1.0276	0.0079	1.0383	0.0144	1.0450	0.0101	1.0414	0.0091					
sro	a	33	1.0332	0.0087	1.0365	0.0076	1.0498	0.0118	1.0713	0.0177	1.0687	0.0154	1.1094	0.0080	1.0932	0.0044		1.0334	0.0061	1.0384	0.0048	1.0513	0.0085	1.0642	0.0072	1.0596	0.0067					
sro	b	28	1.0346	0.0079	1.0431	0.0093	1.0683	0.0204	1.1002	0.0197	1.0942	0.0183	1.1067					1.0336	0.0068	1.0430	0.0072	1.0600	0.0115	1.0664	0.0058	1.0599	0.0050					
sro	c	50	1.0332	0.0092	1.0432	0.0108	1.0682	0.0227	1.0958	0.0201	1.0910	0.0180	1.1085	0.0101				1.0284	0.0054	1.0393	0.0096	1.0515	0.0106	1.0662	0.0162	1.0608	0.0137					
sta	a	17	1.0383	0.0074	1.0504	0.0164	1.0756	0.0313	1.0988	0.0271	1.0928	0.0240	1.1133	0.0110	1.1034				1.0374	0.0068	1.0483	0.0136	1.0600	0.0148	1.0689	0.0135	1.0625	0.0111				
sta	b	5	1.0502	0.0049	1.0788	0.0137	1.1208	0.0153	1.1333	0.0063	1.1279	0.0055	1.0822					1.0362	0.0022	1.0557	0.0106	1.0742	0.0088	1.0749	0.0013	1.0655	0.0026					
sta	c	68	1.0337	0.0117	1.0473	0.0134	1.0784	0.0237	1.1070	0.0178	1.0986	0.0156	1.1036	0.0080				1.0331	0.0078	1.0451	0.0113	1.0614	0.0145	1.0732	0.0132	1.0668	0.0113					
tap	a	151	1.0303	0.0084	1.0385	0.0134	1.0567	0.0234	1.0812	0.0314	1.0769	0.0281	1.1031	0.0115	1.1057	0.0137		1.0311	0.0071	1.0411	0.0111	1.0555	0.0164	1.0620	0.0143	1.0568	0.0121	1.0931	0.0226			
tap	b	72	1.0317	0.0068	1.0432	0.0139	1.0680	0.0265	1.0934	0.0273	1.0883	0.0238	1.1074	0.0111				1.0289	0.0062	1.0395	0.0121	1.0517	0.0161	1.0597	0.0123	1.0550	0.0105					
tap	c	40	1.0401	0.0105	1.0674	0.0257	1.1020	0.0331	1.1169	0.0243	1.1127	0.0220	1.1210	0.0135	1.1179	0.0056		1.0246	0.0067	1.0425	0.0169	1.0562	0.0192	1.0513	0.0172	1.0466	0.0154	1.0644	0.0021			
tun	a	153	1.0416	0.0096	1.0495	0.0146	1.0707	0.0257	1.0937	0.0266	1.0888	0.0215	1.1033	0.0123	1.1053	0.0098		1.0345	0.0058	1.0459	0.0088	1.0595	0.0126	1.0762	0.0219	1.0687	0.0180	1.1276	0.0010	1.1292		
waw	a	78	1.0442	0.0114	1.0417	0.0106	1.0478	0.0117	1.0594	0.0169	1.0612	0.0153	1.1117	0.0124	1.1116	0.0114		1.0393	0.0113	1.0398	0.0104	1.0451	0.0119	1.0513	0.0123	1.0484	0.0115	1.0784	0.0220			
waw	b	41	1.0492	0.0124	1.0570	0.0168	1.0801	0.0261	1.1036	0.0254	1.0992	0.0228	1.1170	0.0115				1.0449	0.0097	1.0512	0.0118	1.0599	0.0123	1.0695	0.0108	1.0659	0.0094					
waw	c	136	1.0423	0.0082	1.0462	0.0095	1.0596	0.0166	1.0780	0.0211	1.0774	0.0183	1.1158	0.0085	1.1011	0.0100		1.0340	0.0072	1.0369	0.0073	1.0445	0.0100	1.0547	0.0122	1.0519	0.0118	1.0860	0.0374			
wol	a	170	1.0363	0.0101	1.0406	0.0098	1.0529	0.0154	1.0710	0.0239	1.0702	0.0212	1.1102	0.0109	1.0973	0.0099		1.0301	0.0106	1.0361	0.0090	1.0457	0.0101	1.0583	0.0128	1.0537	0.0109	1.1112	0.0279	1.1342	0.0005	
wol	b	21	1.0413	0.0126	1.0525	0.0150	1.0751	0.0325	1.0906	0.0370	1.0878	0.0332	1.1094	0.0063				1.0302	0.0135	1.0382	0.0094	1.0541	0.0176	1.0565	0.0154	1.0530	0.0136					
wol	c	194	1.0362	0.0088	1.0517	0.0137	1.0806	0.0226	1.1100	0.0196	1.1033	0.0181	1.1012	0.0117				1.0252	0.0064	1.0376	0.0091	1.0553	0.0150	1.0731	0.0203	1.0674	0.0203					
wwa	a	168	1.0420	0.0089	1.0477	0.0108	1.0670	0.0212	1.0913	0.0256	1.0877	0.0203	1.1119	0.0081	1.1014	0.0052		1.0344	0.0073	1.0441	0.0105	1.0572	0.0145	1.0658	0.0207	1.0618	0.0190	1.1231				
zie	a	61	1.0188	0.0067	1.0231	0.0078	1.0331	0.0108	1.0511	0.0201	1.0500	0.0172	1.1008	0.0084	1.1016	0.0042		1.0195	0.0039	1.0282	0.0071	1.0414	0.0130	1.0532	0.0160	1.0486	0.0139	1.1333	0.0034			
zie	b	60	1.0242	0.0070	1.0339	0.0098	1.0572	0.0210	1.0874	0.0230	1.0820	0.0197	1.1034	0.0064				1.0235	0.0043	1.0366	0.0089	1.0537	0.0142	1.0635	0.0127	1.0567	0.0106					
zie	c	27	1.0218	0.0054	1.0307	0.0138	1.0487	0.0229	1.0718	0.0267	1.0684	0.0233	1.1022	0.0049	1.1009	0.0005		1.0203	0.0040	1.0319	0.0119	1.0452	0.0150	1.0477	0.0114	1.0431	0.0095					
zmu	a	12	1.0328	0.0052	1.0386	0.0088	1.0607	0.0221	1.0901	0.0268	1.0851	0.0232	1.1083	0.0066				1.0348	0.0063	1.0444	0.0110	1.0602	0.0157	1.0848	0.0396	1.0782	0.0344					
zmu	b	13	1.0315	0.0078	1.0423	0.0085	1.0742	0.0134	1.1102	0.0089	1.1012	0.0094						1.0339	0.0046	1.0447	0.0039	1.0663	0.0063									
zmu	c	58	1.0364	0.0067	1.0489	0.0118	1.0752	0.0212	1.1011	0.0201	1.0946	0.0172	1.1062	0.0113				1.0332	0.0056	1.0421	0.0061	1.0563	0.0112	1.0671	0.0164	1.0623	0.0140					
zyw	a	64	1.0282	0.0073	1.0291	0.0066	1.0356	0.0086	1.0465	0.0144	1.0465	0.0120	1.0991	0.0095	1.1031	0.0066		1.0309	0.0050	1.0360	0.0062	1.0441	0.0091	1.0547	0.0114	1.0509	0.0091	1.1063	0.0269			
zyw	b	90	1.0272	0.0088	1.0415	0.0196	1.0672	0.0307	1.0895	0.0283	1.0829	0.0248	1.1039	0.0062	1.1009			1.0303	0.0067	1.0457	0.0155	1.0587	0.0165	1.0610	0.0129	1.0556	0.0108					
1	2	3	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68		

Tab. 23. Najlepsze odzwierciedlenie preklasyfikacji liści pędów A wg stanowisk metodą najbliższego sąsiada. Wiersze: faktyczne klasy, kolumny: liczby trafień uzyskane dla poszczególnych klas. Zastosowano normalizowaną odległość miejska na zmiennych wyselekcjonowanych metodą nieparametrycznej analizy dyskryminacyjnej: PT_L, PT_W, BL_L, BL_W, BL_N, BL_P, ANGLB, CR0_1, CR0_4, CF0_2, CF0_3, CF4_1, EdgeCnt, M_invA, M_invB, M_invC, M_invD, M_invE, M_invG, EF_A1, EF_C1, EF_B2, EF_C2, EF_D2, EF_A3, EF_B3, EF_C3, EF_A4, EF_B4, EF_A5, EF_C6, EF_C7.

STANOWISKA (KLASY)	Gadorosz	Nitra	Olasziszka	Wolin	Bielinek	Zielony_Bór	Wąwóz_myśliborski	Tapadły	Ligota_Dln.	Puszczycówko	Góra_Św_Wawrzyńca	Góra_Św_Waw_(zbiorA)	Lipków	Jabłonna	Śmitowo	Sierpc	Gniew	Rudzienice	Skorocice	Skowronno	Boreczno	Tunel	Sandomierz	Staw	Zmudź	Kamień_Leski	Lesko	Przysłop_Zaluz	Płaski2	Płaski	Żywiec	Otył	Otył0	Sromowce_Nizne	Homole	SUMM	PROCENT TRAFIEN	
Gadorosz	36	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	44	81.82%
Nitra	0	1	0	2	0	1	0	0	0	2	3	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	15	6.67%
Olasziszka	0	0	24	2	3	0	0	0	0	3	1	0	0	0	2	0	0	3	0	1	2	0	0	1	0	1	7	0	0	0	0	0	2	1	0	0	53	45.28%
Wolin	0	1	5	50	13	0	2	7	2	15	5	4	3	3	6	2	3	0	0	4	3	4	0	0	0	2	19	0	2	4	3	3	0	1	4	170	29.41%	
Bielinek	0	0	2	5	94	0	0	12	5	7	1	3	0	6	7	1	4	6	1	2	3	4	0	0	0	2	20	0	0	1	1	10	7	3	2	209	44.98%	
Zielony_Bór	0	0	0	2	3	11	0	2	1	2	1	2	0	0	12	1	6	0	0	0	8	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	6	0	0	0	61	18.03%	
Wąwóz_myśliborski	0	0	0	0	0	0	2	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	12	16.67%	
Tapadły	4	0	2	8	19	3	0	57	3	3	1	4	2	2	3	1	5	4	3	2	3	5	0	2	1	0	7	0	0	0	2	2	0	1	2	151	37.75%	
Ligota_Dln.	0	0	1	1	9	4	0	5	6	2	0	1	1	0	0	0	5	0	0	2	1	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	2	1	1	0	47	12.77%	
Puszczycówko	2	0	3	16	8	1	0	3	1	50	3	1	4	0	6	1	4	1	0	0	3	0	0	1	0	0	5	1	4	3	4	1	0	3	1	130	38.46%	
Góra_Św_Wawrzyńca	0	1	2	4	4	0	1	1	0	6	32	5	2	0	3	0	4	0	0	0	3	4	0	0	1	0	0	0	1	2	0	1	0	0	1	78	41.03%	
Góra_Św_Waw_(zbiorA)	2	1	2	11	6	4	1	6	1	4	9	53	5	1	1	1	5	1	1	0	5	8	1	2	2	1	8	1	3	4	2	2	4	0	10	168	31.55%	
Lipków	1	0	0	0	1	0	0	7	1	2	2	1	16	1	7	2	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3	0	0	2	2	3	0	0	1	56	28.57%	
Jabłonna	0	0	0	1	9	0	0	2	0	1	0	2	0	2	0	2	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	2	1	2	1	2	36	5.56%	
Śmitowo	3	0	3	2	5	5	0	6	0	7	0	0	11	0	45	1	4	1	0	0	3	1	0	0	0	0	6	1	3	2	3	3	3	0	1	119	37.82%	
Sierpc	0	0	3	0	1	0	0	2	2	1	0	1	2	2	2	2	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	0	1	1	30	6.67%		
Gniew	0	0	1	0	4	2	0	3	1	1	1	5	3	5	4	0	33	0	0	2	4	3	0	0	0	0	7	0	0	0	5	2	1	1	89	37.08%		
Rudzienice	0	0	4	0	8	0	0	6	0	2	0	2	0	0	2	2	3	3	0	0	0	0	0	0	0	1	6	0	0	1	3	2	3	0	0	48	6.25%	

STANOWISIAKA (KLASY)	Gadorosz	Nitra	Olasziszka	Wolin	Bielinek	Zielony_Bór	Wawóz_mysłborski	Tapadly	Ligota_Dln.	Puszczakówko	Góra_Św_Wawrzyńca	Góra_Św_Waw_(zbiórA)	Lipków	Jablonna	Śmiłowo	Sierpc	Gniew	Rudzienice	Skorocice	Skowronno	Boreczno	Tunel	Sandomierz	Staw	Zmudź	Kamień_Leski	Lesko	Przystup_Załuz	Piaski2	Piaski	Żywiec	Otryt	Otryt0	Sromowce Nizne	Homole	SUMM	PROCENT TRAFIEŃ	
Skorocice	0	0	0	0	1	0	0	7	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	1	1	0	19	0%	
Skowronno	0	0	1	2	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	12	16.67%	
Boreczno	0	0	5	3	7	4	2	1	0	3	0	3	3	3	7	0	5	0	0	1	11	1	0	1	0	0	7	0	2	2	3	3	3	1	0	81	13.58%	
Tunel	0	0	0	6	13	0	0	3	0	1	3	9	0	3	0	0	4	2	2	1	3	62	0	0	1	0	12	0	1	1	2	3	2	1	18	153	40.52%	
Sandomierz	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	0%	
Staw	0	1	1	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	1	17	11.76%	
Zmudź	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	12	0%	
Kamień_Leski	0	0	3	0	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	4	3	0	0	0	0	0	1	0	0	21	19.05%	
Lesko	1	0	4	5	26	1	0	4	2	1	0	2	0	1	4	1	7	4	1	2	4	4	0	2	2	1	71	0	0	2	1	9	2	1	1	166	42.77%	
Przystup_Załuz	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	10	10%	
Piaski2	0	0	0	1	2	0	0	0	0	5	0	1	2	0	2	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	2	1	0	0	26	19.23%	
Piaski	0	0	1	4	2	0	1	2	3	0	3	1	1	1	2	1	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	2	1	33	3.03%
Zywiec	0	0	1	0	2	1	0	2	2	2	1	0	4	2	6	1	6	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	31	0	0	1	0	64	48.44%	
Otryt	0	0	3	1	8	0	0	3	0	2	0	1	2	0	3	0	7	2	0	1	3	1	0	0	0	0	4	0	1	0	1	24	4	0	0	71	33.80%	
Otryt0	0	0	1	1	5	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	2	0	0	0	1	0	2	0	0	1	0	1	12	0	2	33	36.36%	
Sromowce Nizne	0	0	0	2	7	0	0	1	2	2	0	1	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	3	0	1	0	1	2	0	5	1	33	15.15%	
Homole	1	0	0	6	15	0	1	8	1	2	1	4	0	2	2	0	1	0	1	0	1	18	1	1	1	0	6	0	0	1	0	0	3	0	142	219	64.84%	
% trafień ogółem dla A																																						35.71%

Tab. 24. Najlepsze odzwierciedlenie preklasyfikacji liści pędów B wg stanowisk metodą najbliższego sąsiada. Wiersze: faktyczne klasy, kolumny: liczby trafień uzyskane dla poszczególnych klas. Zastosowano normalizowaną odległość miejska na zmiennych wyselekcjonowanych metodą nieparametrycznej analizy dyskryminacyjnej: PT_W, BL_L, BL_W, BL_LdW, BL_NdL, ANGLB, CR0_1, CF0_1, CF0_2, CF0_3, M_invA, EF_B1, EF_B2, EF_C2, EF_B3.

STANOWISKA (KLASY)	Gadorosz	Nitra	Olasziszka	Wolin	Bielinek	Zielony bór	Wąwóz myśliborski	Tapadły	Ligota Dln.	Puszczycówko	Góra św. Wawrzyńca	Góra św. Waw. (zbiór A)	Lipków	Jablonna	Śmiłowo	Sierpc	Gniew	Rudzienice	Skorocice	Skowronno	Boreczno	Tunel	Sandomierz	Sław	Żmudź	Kamień Leski	Lesko	Przysłop - Zaluz	Piaski2	Piaski	Żywiec	Otrył	Otrył0	Stronowce Niżne	Homole	SUMA	PROCENT TRAFIEŃ
Gadorosz	10	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	55.56%
Nitra	0	11	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	23	47.83%
Olasziszka	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6	16.67%	
Wolin	0	0	0	11	0	0	0	2	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	21	52.38%	
Bielinek	0	0	0	0	42	1	0	2	0	0	2	0	2	3	6	1	0	3	1	0	4	0	0	0	1	2	2	0	0	1	4	5	0	2	0	84	50%
Zielony bór	2	0	0	0	5	21	0	0	0	0	1	0	1	3	2	3	1	1	0	0	9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	6	3	0	1	0	60	35%
Wąwóz myśliborski	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	5	40%	
Tapadły	2	0	0	2	3	1	0	27	0	1	1	0	5	2	1	8	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	6	0	0	3	2	4	0	0	72	37.50%	
Ligota Dln.	0	0	0	0	1	1	0	0	10	0	0	0	1	1	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	21	47.62%	
Puszczycówko	1	2	0	0	1	1	0	1	0	10	0	0	2	2	0	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	2	0	0	33	30.30%	
Góra św. Wawrzyńca	0	0	0	0	2	0	0	3	2	1	11	0	2	0	0	0	2	2	0	0	2	0	2	0	3	1	0	0	0	7	1	0	0	0	41	26.83%	
Góra św. Waw. (zbiór A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lipków	0	0	0	2	3	2	0	4	0	1	0	0	46	3	0	11	7	0	0	0	4	0	2	0	0	2	0	0	1	2	0	3	0	2	0	95	48.42%
Jablonna	0	0	0	0	2	2	1	2	1	0	0	0	3	13	0	4	3	3	1	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	0	1	0	54	24.07%
Śmiłowo	1	0	0	0	4	1	0	1	0	2	0	0	5	1	3	6	3	4	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	1	0	38	7.89%
Sierpc	0	0	0	0	2	1	0	6	1	2	0	0	9	3	6	31	3	1	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3	0	0	0	72	43.06%	
Gniew	0	0	0	0	4	0	0	1	3	0	1	0	7	5	0	4	31	5	1	1	7	0	0	0	3	0	1	0	0	1	11	0	0	0	86	36.05%	
Rudzienice	1	0	0	0	2	0	0	3	0	0	1	0	1	1	0	1	5	36	0	2	1	0	0	0	0	0	5	0	0	3	8	8	0	0	78	46.15%	
Skorocice	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3	3	0	0	4	2	11	1	2	0	1	1	0	0	3	1	2	0	2	2	0	1	0	42	26.19%

STANOWISKA (KLASY)	Gadorosz	Nitra	Olasziszka	Wolin	Bielinek	Zielony bór	Wawóz myśliborski	Tapadły	Ligota Dln.	Puszczakówko	Góra św. Wawrzyńca	Góra św. Waw. (zbiór A)	Lipków	Jablonna	Śmiłowo	Sierpc	Gniew	Rudzieniec	Skorocice	Skowronno	Boreczno	Tunel	Sandomierz	Staw	Żmudź	Kamień Leski	Lesko	Przystup - Zaluż	Piaski2	Piaski	Żywiec	Otryt	Otryt0	Sromowce Niżne	Homole	SUMA	PROCENT TRAFIEN	
Skowronno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	3	12	2	0	0	1	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	26	46.15%
Boreczno	0	1	1	0	3	2	0	1	1	1	0	0	1	8	0	0	2	0	1	2	52	0	0	0	1	3	3	0	0	0	5	4	0	1	0	93	55.91%	
Tunel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sandomierz	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	2	1	0	0	5	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	15	33.33%
Staw	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0%	
Żmudź	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	13	15.38%	
Kamień Leski	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	2	0	1	0	0	4	0	0	0	0	3	0	0	1	0	16	25%	
Lesko	0	1	0	0	2	0	0	3	0	0	1	0	1	2	4	1	2	4	1	1	4	0	0	0	1	0	33	0	0	1	2	3	0	0	0	67	49.25%	
Przystup-Zaluż	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	4	75%		
Piaski2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	2	0	0	0	0	13	61.54%		
Piaski	0	0	0	0	0	1	0	2	0	1	2	0	5	0	0	1	3	2	1	0	3	0	1	0	1	2	0	0	26	0	0	0	1	0	52	50%		
Żywiec	0	0	0	0	5	4	0	4	0	0	0	0	1	3	1	5	7	5	0	0	7	0	0	0	0	1	2	1	1	35	8	0	0	0	90	38.89%		
Otryt	0	1	0	0	4	5	0	3	1	1	0	0	3	4	3	1	1	7	1	1	9	0	0	0	1	1	3	0	0	0	5	22	0	2	0	79	27.85%	
Otryt0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Sromowce Niżne	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	1	2	0	9	0	28	32.14%	
Homole	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
% trafień ogółem dla B																																					39.85%	

Tab. 25. Najlepsze odzwierciedlenie preklasyfikacji liści pędów C wg stanowisk metodą najbliższego sąsiada. Wiersze: faktyczne klasy, kolumny: liczby trafień uzyskane dla poszczególnych klas. Zastosowano normalizowaną odległość miejska na zmiennych wyselekcjonowanych metodą nieparametrycznej analizy dyskryminacyjnej: PT_L, PT_W, BL_W, BL_P, AREA, BL_LdW, BL_PdW, BL_NdL, ANGLT, ANGRT, ANGLB, ANGRB, CR4_1, CF0_1, EdgeCnt, M_invA, M_invB, M_invC, M_invD, M_invE, M_invF, M_invG, EF_B2, EF_C2, EF_B3, EF_C3, EF_B4, EF_C4, EF_D4, EF_A5 EF_B5 EF_C7 EF_C10.

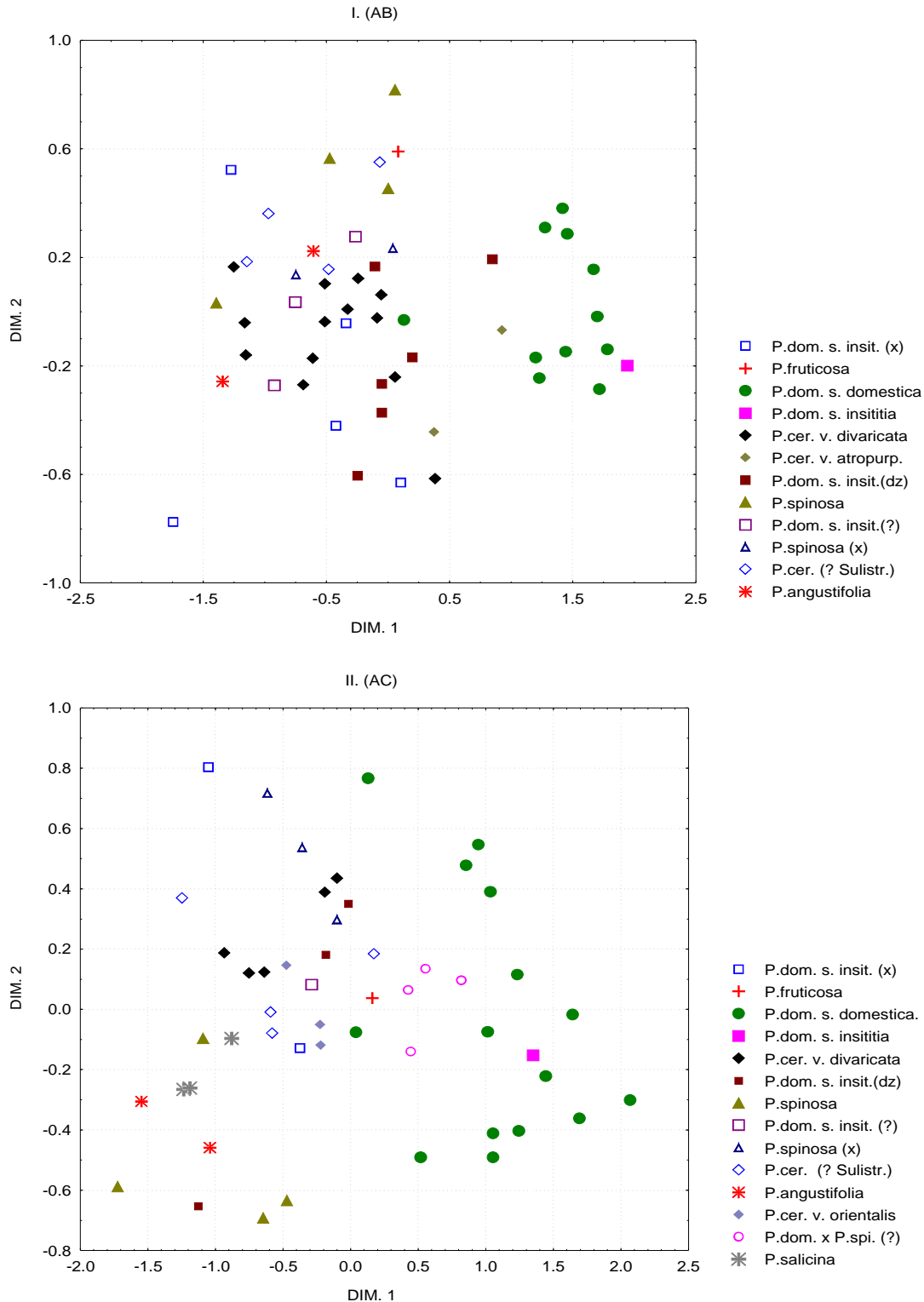
STANOWISKA (KLASY)	Gadorosz	Nitra	Olaszliszka	Wolin	Bielinek	Zielony bór	wąwóz myśliborski	Tapadly	Ligota Dln.	Puszczycówko	Góra św. Wawrzyńca	Góra św. Waw. (zbiór A)	Lipków	Jablonna	Śmiłowo	Sierpc	Gniew	Rudzienice	Skorocice	Skowronno	Boreczno	Tunel	Sandomierz	Sław	Żmudź	Kamień Leski	Lesko	Przysłop-Zaluz	Piaski2	Piaski	Żywiec	Otryt	Otryt0	Stomowce Niżne	Homole	SUMA	PROCENT TRAFIEN	
Gadorosz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Olaszliszka	0	0	2	4	1	0	0	1	1	2	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2	2	0	0	23	8.70%
Wolin	0	0	5	66	44	0	1	2	1	9	2	0	0	1	1	1	1	0	0	4	3	0	0	2	6	2	23	0	0	0	0	0	4	9	7	0	194	34.02%
Bielinek	0	0	4	26	534	1	2	3	4	6	6	0	6	20	1	2	1	2	6	2	10	0	0	12	14	3	31	0	1	0	0	8	10	10	0	725	73.66%	
Zielony bór	0	0	0	0	4	7	0	0	1	3	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	27	25.93%	
Wąwóz myśliborski	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	9	22.22%	
Tapadly	0	0	0	3	5	0	0	16	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	9	1	0	0	0	1	1	0	0	40	40%	
Ligota Dln.	0	0	1	3	10	1	0	0	10	4	0	0	0	0	1	3	2	0	0	1	5	0	0	3	2	0	9	0	0	0	0	0	5	0	1	0	61	16.39%
Puszczycówko	0	0	1	13	18	1	0	0	2	48	14	0	2	1	3	1	0	1	1	1	3	0	1	2	3	0	6	0	1	0	0	2	2	6	0	133	36.09%	
Góra św. Wawrzyńca	0	0	0	4	14	0	0	2	0	17	59	0	4	1	3	2	0	0	0	1	7	0	0	1	3	0	6	1	3	0	0	1	0	7	0	136	43.38%	
Góra św. Waw., (zbiór A)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lipków	0	0	1	0	6	0	0	0	0	9	8	0	18	1	0	2	1	0	0	0	1	0	0	2	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	53	33.96%
Jablonna	0	0	0	0	11	0	0	0	0	2	1	0	0	13	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	1	1	0	34	38.24%	
Śmiłowo	0	0	0	2	1	0	0	2	1	5	2	0	0	0	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	1	3	0	36	30.56%	

STANOWISKA (KLASY)	Gadorosz	Nitra	Olasziszka	Wolin	Bielinek	Zielony bór	wawóz myśliborski	Tapadly	Ligota Dln.	Puszczakówko	Góra św. Wawrzyńca	Góra św. Waw. (zbiór A)	Lipków	Jablonna	Śmitowo	Sierpc	Gniew	Rudzienice	Skorocice	Skowronno	Boreczno	Tunel	Sandomierz	Staw	Żmudź	Kamień Leski	Lesko	Przystup-Zaluz	Piaski2	Piaski	Żywiec	Otryt	Otryt0	Sromowce Niżne	Homole	SUMA	PROCENT TRAFIEŃ		
Sierpc	0	0	0	0	5	0	0	1	2	3	6	0	2	0	5	36	0	0	0	2	3	0	0	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	1	1	0	72	50%	
Gniew	0	0	0	0	4	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	16.67%	
Rudzienice	0	0	1	2	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	2	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	17	11.76%	
Skorocice	0	0	0	0	6	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	3	0	1	1	0	1	0	0	0	1	2	1	0	22	9.09%	
Skowronno	0	0	0	6	6	0	0	1	3	1	1	0	0	0	1	2	0	1	0	2	3	0	0	0	0	0	10	0	1	0	0	0	1	2	0	0	41	4.88%	
Boreczno	0	0	2	3	10	0	2	3	1	5	5	0	2	3	0	2	0	0	1	5	15	0	0	1	0	2	4	1	2	0	0	1	1	1	0	72	20.83%		
Tunel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Sandomierz	0	0	0	2	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	1	2	1	0	0	0	1	0	0	0	15	6.67%		
Staw	0	0	1	0	20	1	0	0	0	2	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	2	0	1	15	1	2	5	0	1	0	0	2	3	7	0	68	22.06%		
Żmudź	0	0	0	7	19	0	0	1	0	4	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	3	10	1	2	0	0	0	0	0	1	4	0	58	17.24%		
Kamień Leski	0	0	1	0	11	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	5	0	4	1	0	0	1	0	1	2	0	0	31	12.90%		
Lesko	0	0	4	29	31	0	1	4	3	6	0	0	1	2	4	3	0	0	0	8	4	0	1	3	2	1	108	1	0	0	0	9	2	5	0	232	46.55%		
Przystup-Zaluz	0	0	0	5	4	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	6	2	0	0	0	0	0	0	0	23	8.70%		
Piaski2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	3	0	4	0	0	0	0	2	0	21	19.05%		
Piaski	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	33.33%		
Żywiec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Otryt	0	0	1	5	11	1	1	0	1	4	0	0	1	2	3	0	0	0	2	0	1	0	0	1	0	1	13	0	0	0	0	28	0	2	0	78	35.90%		
Otryt0	0	0	1	10	20	0	0	0	1	0	0	0	1	3	4	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	3	7	0	0	0	0	0	17	1	0	72	23.61%		
Sromowce Niżne	0	0	0	3	12	0	0	0	1	3	1	0	0	0	2	0	0	0	1	1	1	0	0	2	2	1	5	0	2	0	0	4	1	8	0	50	16%		
Homole	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
% trafień ogółem dla C																																						44.23%	

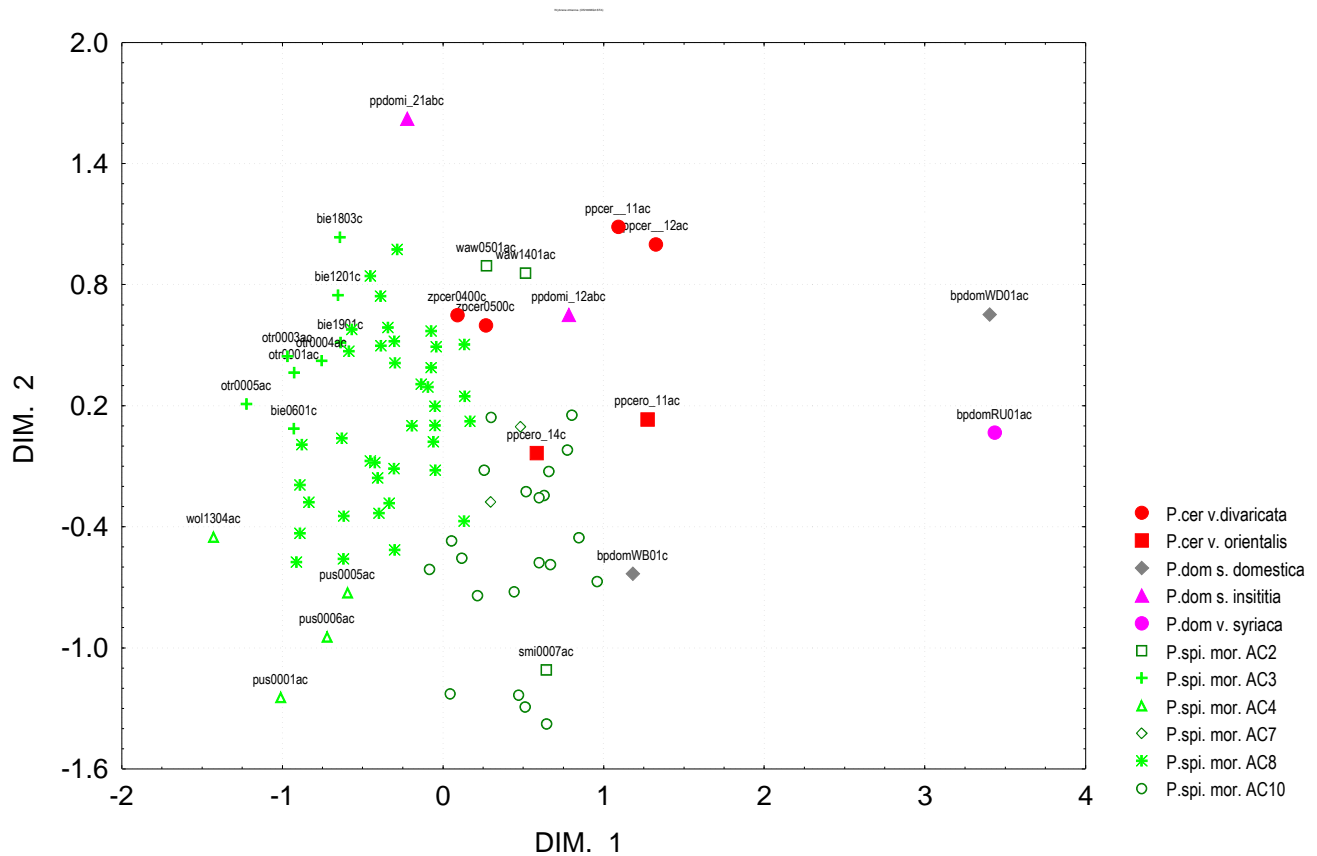
Tab. 26. Korelacje pomiędzy głównymi czynnikami uzyskanymi za pomocą PCA a statystykami zmiennych biometrycznych liści poszczególnych okazów *P. spinosa*. Wyróżniono korelacje o wartości bezwzględnej większej od 0.7 oraz większej od 0.5.

AB	Factor 1	Factor 2	AC	Factor 1	Factor 2
AMNANGLB	-0.083239224	-0.588965498	AMNANGLB	-0.097424656	-0.570330258
AMNANGLT	0.283928013	-0.183803039	AMNANGLT	0.127450552	-0.297221815
AMNAREA_	0.737459671	-0.091494488	AMNAREA_	0.780587705	0.020880829
AMNBL_L_	0.739951013	0.104483755	AMNBL_L_	0.770763164	0.263668393
AMNBL_LDW	0.030669316	0.732142449	AMNBL_LDW	0.084281786	0.776469695
AMNBL_N_	0.781528466	0.16693982	AMNBL_N_	0.787274251	0.2874417
AMNBL_NDL	0.405186082	0.227747283	AMNBL_NDL	0.401478483	0.19787909
AMNBL_P_	0.741869116	0.082717189	AMNBL_P_	0.771586862	0.202236571
AMNBL_PDW	0.065088408	0.802880248	AMNBL_PDW	0.096572558	0.812044512
AMNBL_W_	0.672280871	-0.266453152	AMNBL_W_	0.717292248	-0.17778773
AMNBR_L_	0.33226841	-0.134850942	AMNBR_L_	0.197071003	-0.110552277
AMNBR_LDW	0.087393216	-0.10759272	AMNBR_LDW	0.053472872	-0.094790273
AMNBR_W_	0.378872001	-0.092184701	AMNBR_W_	0.249396481	-0.041100301
AMNCF0_1	-0.345837713	0.258976557	AMNCF0_1	-0.273269274	0.026528145
AMNCF0_2	-0.620180295	0.279439051	AMNCF0_2	-0.654738894	0.064403054
AMNCF0_3	-0.710786431	0.235396471	AMNCF0_3	-0.76171581	0.098278666
AMNCF0_4	-0.627290631	0.132769901	AMNCF0_4	-0.69848624	0.133883227
AMNCR0_1	-0.231079524	0.49369849	AMNCR0_1	-0.134764823	0.380330287
AMNCR0_2	-0.44819848	0.586423424	AMNCR0_2	-0.440586048	0.527451832
AMNCR0_3	-0.57013285	0.544751672	AMNCR0_3	-0.585890512	0.466741789
AMNCR0_4	-0.615932914	0.498790941	AMNCR0_4	-0.647969087	0.446154814
AMNPT_L_	0.688600969	0.267768096	AMNPT_L_	0.66065712	0.358404611
AMNPT_W_	0.460471446	-0.385332117	AMNPT_W_	0.444208096	-0.33244322
AQ3ANGLB	-0.047986649	-0.536360012	AQ3ANGLB	-0.078770228	-0.531953839
AQ3ANGLT	0.243657797	-0.167809994	AQ3ANGLT	0.131028872	-0.277437727
AQ3AREA_	0.627378017	-0.101531545	AQ3AREA_	0.665158997	-0.057956228
AQ3BL_L_	0.632179237	0.065158088	AQ3BL_L_	0.661332577	0.132789478
AQ3BL_LDW	0.000375186	0.697614514	AQ3BL_LDW	0.096020568	0.688820623
AQ3BL_N_	0.671044334	0.163303972	AQ3BL_N_	0.682620818	0.195786795
AQ3BL_NDL	0.317465166	0.329141879	AQ3BL_NDL	0.26223962	0.285880479
AQ3BL_P_	0.650128623	0.033982709	AQ3BL_P_	0.666809905	0.098697449
AQ3BL_PDW	0.035156455	0.756454946	AQ3BL_PDW	0.094511188	0.734590533
AQ3BL_W_	0.589006172	-0.228030409	AQ3BL_W_	0.603604643	-0.21253399
AQ3BR_L_	0.143142654	-0.034371948	AQ3BR_L_	0.056542409	-0.112328879
AQ3BR_LDW	0.15771519	-0.038047267	AQ3BR_LDW	-0.028479624	-0.148411017
AQ3BR_W_	0.095752841	-0.052989091	AQ3BR_W_	0.081108264	-0.031438474
AQ3CF0_1	-0.267740524	0.206744052	AQ3CF0_1	-0.246948646	0.104300177
AQ3CF0_2	-0.504024753	0.268040808	AQ3CF0_2	-0.501844368	0.203516975
AQ3CF0_3	-0.568905032	0.257513301	AQ3CF0_3	-0.564336301	0.186569779
AQ3CF0_4	-0.466438529	0.229553783	AQ3CF0_4	-0.489839141	0.185012335
AQ3CR0_1	-0.202982425	0.422452479	AQ3CR0_1	-0.170353253	0.352211228
AQ3CR0_2	-0.356346834	0.575699958	AQ3CR0_2	-0.363802639	0.523259641
AQ3CR0_3	-0.453497302	0.53101708	AQ3CR0_3	-0.459729629	0.478302112
AQ3CR0_4	-0.485576268	0.479740976	AQ3CR0_4	-0.502120488	0.430042881
AQ3CR4_2	0.046110834	0.341039766	AQ3CR4_2	0.130130035	0.267748417

AQ3PT_L_	0.629242016	0.207004397	AQ3PT_L_	0.56965072	0.291476019
AQ3PT_W_	0.439457382	-0.332224699	AQ3PT_W_	0.404040939	-0.313849684
BMNANGLB	-0.20489971	-0.667870939	CMNANGLB	-0.192048175	-0.601412729
BMNANGLT	0.340205072	-0.13080891	CMNANGLT	0.127493353	-0.449760061
BMNAREA_	0.870553873	0.11894619	CMNAREA_	0.82932775	-0.000416833
BMNBL_L_	0.815014574	0.344806661	CMNBL_L_	0.808033578	0.233308632
BMNBL_LDW	-0.042031221	0.737999554	CMNBL_LDW	0.104304264	0.782413755
BMNBL_N_	0.795982828	0.389680689	CMNBL_N_	0.815892103	0.255649266
BMNBL_NDL	0.449251816	0.384915147	CMNBL_NDL	0.401046572	0.252503043
BMNBL_P_	0.833335516	0.305053248	CMNBL_P_	0.82170626	0.165111218
BMNBL_PDW	0.026650955	0.788787694	CMNBL_PDW	0.165644181	0.802132877
BMNBL_W_	0.835339953	-0.050946873	CMNBL_W_	0.779959949	-0.18986779
BMNBR_L_	0.097143141	-0.253392931	CMNCF0_1	-0.205519617	-0.000250835
BMNBR_LDW	-0.111005472	-0.248769487	CMNCF0_2	-0.65044076	0.080225458
BMNBR_W_	0.30085438	0.020410307	CMNCF0_3	-0.633355849	0.109162052
BMNCF0_1	-0.42289941	0.063036401	CMNCF0_4	-0.511895248	0.042072474
BMNCF0_2	-0.718740269	-0.020071508	CMNCR0_1	0.052062528	0.602400581
BMNCF0_3	-0.69668258	0.024079002	CMNCR0_2	-0.436385851	0.583482574
BMNCF0_4	-0.500143841	0.182349145	CMNCR0_3	-0.594734414	0.493264598
BMNCR0_1	-0.239472888	0.521431524	CMNCR0_4	-0.609103476	0.488301298
BMNCR0_2	-0.613811526	0.375880822	CMNCR4_2	0.511616596	-0.044410036
BMNCR0_3	-0.723173919	0.342487274	CMNPT_L_	0.708056227	0.263626142
BMNCR0_4	-0.706144468	0.387012222	CMNPT_W_	0.459694657	-0.288598457
BMNPT_L_	0.716270098	0.359594652	CQ3ANGLB	-0.217175952	-0.447239566
BMNPT_W_	0.590019954	-0.172624485	CQ3ANGLT	0.113120063	-0.25013804
BQ3ANGLB	-0.215297376	-0.624543201	CQ3AREA_	0.799955151	-0.003326222
BQ3ANGLT	0.287445235	-0.047690659	CQ3BL_L_	0.803719981	0.187143218
BQ3AREA_	0.792010899	0.109067426	CQ3BL_LDW	0.103356071	0.715029758
BQ3BL_L_	0.753934584	0.324810986	CQ3BL_N_	0.805116252	0.203361102
BQ3BL_LDW	-0.043678725	0.690499231	CQ3BL_NDL	0.278420389	0.220106455
BQ3BL_N_	0.734477378	0.379588294	CQ3BL_P_	0.806144787	0.147445965
BQ3BL_NDL	0.408199674	0.422389452	CQ3BL_PDW	0.152654507	0.722498206
BQ3BL_P_	0.760971212	0.287947155	CQ3BL_W_	0.766725522	-0.152768436
BQ3BL_PDW	0.007301768	0.718951582	CQ3CF0_1	-0.1215365	0.061174001
BQ3BL_W_	0.766202113	-0.03250117	CQ3CF0_2	-0.576253557	0.148851328
BQ3CF0_1	-0.275199856	0.053393928	CQ3CF0_3	-0.555872436	0.310342951
BQ3CF0_2	-0.535380988	-0.04284629	CQ3CF0_4	-0.381628201	0.078943079
BQ3CF0_3	-0.499539259	0.042396066	CQ3CR0_1	0.041875096	0.549489862
BQ3CF0_4	-0.280981077	0.170030806	CQ3CR0_2	-0.369838282	0.599218078
BQ3CR0_1	-0.156876665	0.499143763	CQ3CR0_3	-0.511505664	0.501969612
BQ3CR0_2	-0.533467905	0.287922454	CQ3CR0_4	-0.546399876	0.467180486
BQ3CR0_3	-0.610315898	0.233419587	CQ3PT_L_	0.693257024	0.24086671
BQ3CR0_4	-0.546822397	0.319816506	CQ3PT_W_	0.448613716	-0.22598453
BQ3CR4_2	0.208095229	0.078673903			
Expl.Var	23.15376964	12.05907176	Expl.Var	22.78569388	12.12880192
Prp.Totl	0.260154715	0.135495188	Prp.Totl	0.25892834	0.137827295



Ryc. 41. Wyniki skalowania wielowymiarowego (dla 2 wymiarów) dla okazów śliw opisanych przez cechy liści długopędowych i niekiedy cierni (I.) oraz przez cechy liści długopędowych i krótkopędowych (II.). Użyto macierzy normalizowanej odległości miejskiej pomiędzy okazami obliczonej na podstawie średnich, median i trzecich kwartyli z cech liści. (x) -oznacza osobnika o cechach mieszańcowych, (?) - osobnika o niepewnym oznaczeniu, (? Sulistr.) - jeden z osobników ze stanowiska Sulistrowiczki, o bardzo niepewnym oznaczeniu.



Ryc. 42. Wynik skalowania wielowymiarowego (dla 2 wymiarów) wylosowanych okazów tarniny oraz wybranych okazów innych gatunków rodzaju *Prunus*. Macierz normalizowanej odległości miejskiej oparta na następujących zmiennych wybranych na podstawie wartości absolutnej korelacji Tau >0.4 i zredukowanych za pomocą nieparametrycznej analizy dyskryminacyjnej (patrz str. 90): cQ2BL_W, cQ2Area, cMnBL_W, cQ2BL_P, cQ2BL_N, cQ2BL_L, cMnBL_P, cQ3BL_P, cMnCF0_3, cQ2CF0_2, cQ2CR0_4. v.=*varietas*, s.=*subspecies*, mor.=*morfotyp*.

Tab. 27. Korelacje pomiędzy zmiennymi klimatycznymi dla 34 stanowisk tarniny. Zamieszczono wyłącznie korelacje o poziomie istotności $p < 0.05$. Porządek zmiennych ustalony poprzez grupowanie algorytmem genetycznym na podstawie macierzy odległości korelacyjnej między cechami.

Zmienne	DNI_MROZ	DNI_SNIE	IZAMPLTU	MNPM	OPADY_RO	WS_ZCH	PD_PN	ZCHM_LIP	ZCHM_ROK	ZCHM_STY	USLONECZ	DNI_CIEP	IZOT_LIP	IZOT_ROK	IZOT_STY	OKR_WEG
KLASY	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	4	4	4	4	4
DNI_MROZ		0.81	0.65	0.55	0.52	0.76	-0.44	-0.5				-0.73	-0.62	-0.9	-0.94	-0.86
DNI_SNIE	0.81		0.34	0.83	0.86	0.59	-0.65	-0.44		-0.35		-0.78	-0.78	-0.78	-0.83	-0.81
IZAMPLTU	0.65	0.34				0.91		-0.41		0.41				-0.47	-0.75	-0.51
MNPM	0.55	0.83			0.89	0.38	-0.86	-0.54	-0.35	-0.59		-0.71	-0.76	-0.58	-0.58	-0.61
OPADY_RO	0.52	0.86		0.89		0.36	-0.73	-0.38		-0.57	-0.46	-0.72	-0.82	-0.61	-0.59	-0.62
WS_ZCH	0.76	0.59	0.91	0.38	0.36		-0.4	-0.54						-0.61	-0.87	-0.69
PD_PN	-0.44	-0.65		-0.86	-0.73	-0.4		0.58	0.4	0.55		0.46	0.51	0.37	0.45	0.34
ZCHM_LIP	-0.5	-0.44	-0.41	-0.54	-0.38	-0.54	0.58		0.74		-0.36	0.39		0.37	0.47	0.41
ZCHM_ROK				-0.35			0.4	0.74			-0.39					
ZCHM_STY		-0.35	0.41	-0.59	-0.57		0.55				0.38	0.46	0.47			
USLONECZ					-0.46			-0.36	-0.39	0.38				0.52		
DNI_CIEP	-0.73	-0.78		-0.71	-0.72		0.46	0.39		0.46			0.85	0.81	0.61	0.76
IZOT_LIP	-0.62	-0.78		-0.76	-0.82		0.51			0.47	0.52	0.85		0.71	0.59	0.76
IZOT_ROK	-0.9	-0.78	-0.47	-0.58	-0.61	-0.61	0.37	0.37				0.81	0.71		0.88	0.9
IZOT_STY	-0.94	-0.83	-0.75	-0.58	-0.59	-0.87	0.45	0.47				0.61	0.59	0.88		0.89
OKR_WEG	-0.86	-0.81	-0.51	-0.61	-0.62	-0.69	0.34	0.41				0.76	0.76	0.9	0.89	

Dodatek B - program CLAGEN.

B 1. Problem jakości metod klasyfikacji

Klasyfikacja jest jednym z najważniejszych zagadnień z jakimi muszą radzić sobie nauki empiryczne w ogóle, a nauki biologiczne w szczególności. Klasyfikowaniu służy nieprzebrana mnogość różnorodnych metod i narzędzi. Jednym z głównych problemów jest klasyfikowanie optymalne, czyli takie by powstała klasyfikacja najlepiej odzwierciedlała wiedzę o obiektach klasyfikowanych. Niezależnie od przyjętych kryteriów jakości klasyfikacji, jest to zagadnienie bardzo złożone, a z informatycznego punktu widzenia należące do kategorii zadań NP-trudnych (*NP-complete*). Oznacza to, że podanie algorytmu ogólnego znajdującego zawsze absolutnie najlepszą klasyfikację każdego zbioru i mniej czasochłonnego od sprawdzenia wszystkich możliwych rozwiązań jest praktycznie niemożliwe. Zaś czasochłonność sprawdzania wszystkich rozwiązań (lub „zasobochłonność” w przypadku równoważnych rozwiązań równoległych), wraz ze wzrostem liczby obiektów rośnie bardzo szybko⁵⁸ (por. wyliczenie na str. 91 w rozdziale „3.2.5. Niestandardowe metody eksploracyjnej analizy danych”).

„Suboptymalność” wyników obciąża wszystkie narzędzia służące klasyfikowaniu, nie wyłączając różnorodnych metod analizy skupień implementowanych w programach do eksploracyjnej analizy danych. Np. w typowym zadaniu klasyfikacji fenetycznej **m** obiektów za pomocą **n** cech, jeśli dane nie są „wystarczająco mocne”, to każda para **metryka + algorytm skupiania** może dać inną klasyfikację wynikową. Tego typu zadania wystąpiły przy eksploracji wyników niniejszej pracy wielokrotnie⁵⁹.

Właśnie ze względu na specyfikę materiału badanego w tej pracy wyniki klasycznej analizy skupień nie były zbyt wiarygodne, i niełatwe do interpretacji, stąd pojawiła się konieczność zastosowania opisanej dalej metody. Ponadto wystąpiła też

⁵⁸ już dla stosunkowo małych N zbliża się do liczby cząstek elementarnych całego wszechświata.

⁵⁹ Na marginesie warto zauważyć, że w zadaniu klasyfikowania wszyscy skazani jesteśmy na algorytmy optymalizacyjne i rozwiązania suboptymalne, nawet jeśli posługujemy się wyłącznie własnym rozumem i nawet nie znamy terminu „algorytm”. Zapewne z tego powodu taksonomia jest dziedziną nauk biologicznych, w której najtrudniej badaczom osiągnąć konsensus, i w której często dochodzi do prób „rewolucyjnego zaczynania od początku”. Ale to już zagadnienie dla metodologów nauki.

konieczność ustalania w jakim stopniu dane zawarte w materiale odpowiadają jakiejś zadanej *a priori* lub uzyskanej w ten czy inny sposób klasyfikacji oraz ustalania podzbioru cech (danych) najlepiej taką klasyfikacją odzwierciedlających. Rozwiązanie tego pokrewnego problemu opisano w rozdziale „3.2.5.3. Uzyskiwanie optymalnego zestawu cech odzwierciedlających zadaną klasyfikację metodą nieparametrycznej analizy dyskryminacyjnej”.

B 2. Klasyfikacja niehierarchiczna za pomocą algorytmu genetycznego

B 1.1. Wprowadzenie

Dla problemu optymalnej klasyfikacji znaleziono już wiele lepszych lub gorszych rozwiązań; dla klasyfikacji hierarchicznych stosuje się np. metodę uzgodnionego drzewa (*consensus tree*) a dla klasyfikacji nie-hierarchicznych także inne metody: symulowane wyżarzanie (*simulated annealing*), *Tabu Search* (ARMORIM DE, BARTH ■ LEMY, RIBEIRO 1992) czy *branch and bound* (GR ★ TSCHEL, WAKABAYASHI 1990).

Jeśli wymagana jest klasyfikacja bardzo zbliżona do optymalnej, a złożoność obliczeniowa do pewnych granic jest akceptowalna, to można zastosować metodę optymalizacji za pomocą algorytmu genetycznego (*GA-genetic algorithm*). Rozwiązaniami tego rodzaju są:

- tworzenie klasyfikacji niehierarchicznej o zadanej liczbie partycji metodą **k**-medoidów (LUCASIUS I IN. 1993), oraz
- partycjonowanie zbioru z nienarzuconą liczbą partycji metodą **n**-medoidów (MORACZEWSKI I IN. 1995).

Ta ostatnia została zaimplementowana w programie CLAGEN, którego głównym autorem był I. Moraczewski, a którego odmłodzoną wersję o nieco rozszerzonej funkcjonalności wykonał autor w związku z niniejszą pracą.

B 2.2. Algorytm zrealizowany w programie CLAGEN

Algorytmy genetyczne zostały zaproponowane przez HOLLAND’A (1975) i od tamtego czasu zastosowano je do wielu problemów optymalizacyjnych (GOLDBERG 1989;

MICHALEWICZ 1996) Od typowych deterministycznych algorytmów optymalizacyjnych, oraz od niedeterministycznych algorytmów typu symulowanego wyżarzania (*simulated annealing*) i „spaceru pod górkę” (*hill climbing*) różnią tym, że próbują naśladować probabilistyczne właściwości ewolucji organizmów żywych.

W algorytmie genetycznym zawsze istnieje jakaś populacja rozwiązań problemu, zakodowanych w postaci łańcuchów bitowych. Rozwiązania te duplikują („rozmnażają się”), ulegają losowym „mutacjom” i zwykle wymieniają fragmenty swoich „genomów” (*crossing-over*). Ponadto podlegają presji selekcyjnej proporcjonalnej lub odwrotnie proporcjonalnej do zadanej funkcji jakości rozwiązania (*fitness function*), w zależności czy szukane jest minimum czy maksimum tej funkcji.

Operacje mutacji i *crossing-over* polegają zwykle na negacji bitów i przenoszeniu podłańcuchów bitowych zakodowanej reprezentacji rozwiązania. Funkcja może być w zasadzie dowolna, choć dla efektywności algorytmu jest wskazane, by tworzona przez nią przestrzeń rozwiązań była w miarę możliwości „gładka” (*smooth*) tzn. żeby zbliżone genomy miały zbliżoną wartość „przystosowania” (*fitness*).

Stosując algorytm genetyczny do problemu klasyfikacji napotykamy trudny do rozwiązania problem reprezentacji: nie wymyślono dotychczas takiej bitowej reprezentacji klasyfikacji, która pozwalałaby każdemu z obiektów być w dowolnej z grup (oczywiście nie większej od liczby obiektów), a jednocześnie mogłaby podlegać prostym, standardowo stosowanym w GA, bitowym operacjom mutacji i *crossing-over*⁶⁰. W zastosowanym algorytmie *n*-medoidów udało się tą sprzeczność ominąć kosztem przyjęcia ograniczenia na kształt reprezentowalnych skupień w przestrzeni cech – muszą one być w przybliżeniu hipersferami. Dzięki temu reprezentacja klasyfikacji liczy tyle bitów ile jest obiektów klasyfikowanych i może podlegać standardowo zdefiniowanym operacjom „genetycznym”. Ustawione bity reprezentacji (równe 1) informują, że odpowiadający obiekt jest reprezentantem klasy (medoidem), a bity wygaszone (równe 0) informują, że odpowiadający obiekt należy do klasy reprezentowanej przez najbliższy mu

⁶⁰ Autor jednej z nowszych książek o GA (MICHALEWICZ 1996) twierdzi, że ostatnio gremialnie i z coraz lepszymi wynikami odchodzi się do schematu kodowania bitowego (0/1) w kierunku różnych innych reprezentacji i zmodyfikowanych operatorów mutacji i *crossing-over*, czyli od algorytmów genetycznych do algorytmów ewolucyjnych.

medoid. Dopuszcza to zaledwie⁶¹ 2^n możliwych klasyfikacji oraz zmusza funkcje jakości do pełnienia dodatkowego zadania – wykluczania klasyfikacji wadliwych, gdy żaden bit nie jest równy **1**, i trywialnych, gdy wszystkie bity lub tylko jeden z bitów jest 1 (czyli do usunięcia **N+2** klasyfikacji).

Stąd cztery alternatywne funkcje jakości zostały zdefiniowane jako **0**, gdy liczba klas **k** jest równa **1**, lub jest równa liczbie obiektów **n**. W przeciwnym wypadku funkcje zależą od macierzy odległości między obiektami (**D**) będącej wejściem algorytmu i liczonej niezależnie, oraz od wynikowej macierzy odległości danej klasyfikacji (Δ), obliczanej osobno dla każdego rozwiązania. Postać zależności jest następująca:

$$(b1) \quad F_{(P)} = 1 / (1 + s (D, \Delta)), \text{ gdzie:}$$

$F_{(P)}$ - jakość partycjonowania danego przez rozwiązanie **P**,

$s (D, \Delta)$ - funkcja stresu pomiędzy wejściową macierzą **D** odległości między obiektami, a macierzą wynikową Δ .

Odległość δ_{ij} między obiektami **i**, **j** w macierzy Δ równa się średniej odległości między skupieniami, jeśli obiekty **i**, **j** należą do różnych klas (skupień), albo średniej odległości między obiektami skupienia, do którego należą zarówno obiekt **i** jak **j**.

Różnice pomiędzy alternatywnymi funkcjami jakości polegają na różnym zdefiniowaniu stresu ($s (D, \Delta)$). W programie zastosowane są cztery definicje stresu:

$$(b2) \quad s_1 = \sqrt{\sum_n (d_{ij} - \delta_{ij})^2}$$

$$(b3) \quad s_2 = \sqrt{\sum_n |d_{ij} - \delta_{ij}|}$$

$$(b4) \quad s_3 = \sqrt{\sum_n |d_{ij} - \delta_{ij}| / (d_{ij} + \delta_{ij})}$$

$$(b5) \quad s_4 = \sqrt{\sum_n (d_{ij} - \delta_{ij})^2 / d_{ij}^2}$$

Gdzie:

d_{ij} - odległość między obiektami **i**, **j** w macierzy **D**,

⁶¹ Liczba klasyfikacji, zwana liczbą Bella, rośnie szybciej niż 2^n : B(4)=14, B(5)=52, B(8)=4140 (!).

δ_{ij} -odległość między obiektami i, j w macierzy Δ ,

$\sqrt{\sum_n}$ -pierwiastek kwadratowy z sumy po wszystkich n obiektach z wyrażenia następującego dalej.

Jak opisano w artykule (MORACZEWSKI I IN. 1995) najlepsze efekty osiąga się za pomocą funkcji S_4 , ale ma ona ograniczenie numeryczne – ze względu na dzielenie przez d_{ij}^2 w zbiorze obiektów nie może być oczywiście żadnych obiektów tożsamyh (o odległości równej 0). Nie może być także żadnych obiektów, których odległość jest na tyle mała, że ułamek wynikający z podniesienia ich do kwadratu nie daje się zapisać w reprezentacji zmiennopozycyjnej o precyzji użytej w programie (w wersji dla MS Windows liczby 64 bitowe). Problem wydaje się teoretyczny, ale może się nieprzyjemnie unaocznić, gdy używa się odległości normalizowanych do zakresu $\langle 0,1 \rangle$ i pewne obiekty w zbiorze są bardzo podobne do siebie, a pewne bardzo, bardzo niepodobne. Pozostałe funkcje dają nieco gorsze, ale również użyteczne rezultaty, szczególnie, że zwykle liczba tworzonych przez nie skupień jest mniejsza, co przy porównaniu z wynikami funkcji S_4 pozwala na wgląd w pewną „hierarchię” klas, lub stwierdzenie, które obiekty są słabiej związane ze swoimi klasami.

Trzeba także zwrócić uwagę, że algorytm genetyczny jest probabilistyczny i działając w skończonym czasie jest niedeterministyczny - wynikowe najlepsze klasyfikacje mogą być różne w poszczególnych próbach (przebiegach algorytmu). Dla zwiększenia wiarygodności rozwiązania, dla każdego zbioru danych należy wykonać pewną liczbę niezależnych przebiegów algorytmu (np. 100). Statystyka taka pozwala stwierdzić z jakim prawdopodobieństwem odnajdywana jest najlepsza klasyfikacja i czy zarazem jest ona najprawdopodobniejsza (najczęstsza), a przez to oszacować „klasyfikowalność” zbioru obiektów.

Dodatek C - Spis tabel

Tab. 1. Liczba chromosomów niektórych taksonów w obrębie rodzaju <i>Prunus</i>	15
Tab. 2. Schemat skrótego kodowania nazw okazów.....	48
Tab. 3. Zestawienie ilościowe materiału po eliminacji liści i pędów o niedostatecznej jakości.....	56
Tab. 4. Zestawienie informacji o użytych w pracy metodach pomiarowych.....	64
Tab. 5. Uzgodniona klasyfikacja niehierarchiczna ważniejszych zmiennych opisujących materiał <i>Prunus spinosa</i> L. uzyskana za pomocą algorytmu genetycznego na podstawie odległości korelacyjnej (1-r). W nawiasach cechy mocniej związane pomiędzy sobą niż z resztą grupy lub słabiej związane z całą grupą. Wyjaśnienie skrótów na wkładce oraz w rozdziale „2.1.1. Miejsca zbioru na terenie Polski”.....	94
Tab. 6. Najlepsze odzwierciedlenie zadanej preklasyfikacji liści wg typów pędów (A, B, C) za pomocą analizy dyskryminacyjnej z usuwaniem przypadków z wartościami brakującymi. Wiersze: klasyfikacja obserwowana (preklasyfikacja). Kolumny: klasy uzyskane na podstawie danych. Zmienne: ANGLB, BL_W, BL_NDL, ANGRB, BL_P, ANGRT, CF0_4, BL_L, CR0_3, BL_PDW, CF0_1, CF0_2, CR0_1, CR0_2, ANGLT, BL_N, PT_W, AREA, CR0_4, CF0_3, PT_L, BL_LDW.....	101
Tab. 7. Najlepsze odzwierciedlenie zadanej klasyfikacji liści (A, B i C) za pomocą analizy dyskryminacyjnej z zastępowaniem brakujących wartości przez średnie wartości zmiennej dla całego zbioru (wartość obojętną). Wiersze: klasyfikacja obserwowana (preklasyfikacja). Kolumny: klasy uzyskane na podstawie danych. Zmienne: BL_W, BL_NDL, ANGRB, ANGLB, BL_PDW, ANGRT, CF0_4, ANGLT, PT_W, CR0_2, CF0_2, CF0_1, CR0_1, CR0_4, BL_N, BL_L, PT_L, CF0_3, BL_P, BL_LDW, AREA.....	101
Tab. 8. Walidacja krzyżowa zestawu zmiennych uzyskanych za pomocą analizy dyskryminacyjnej przy zastępowaniu brakujących wartości średnimi. Macierz „normalizowana odległość miejska”. Zmienne: BL_W, BL_NdL, ANGRB, ANGLB, BL_PdW, ANGRT, CF0_4, ANGLT, PT_W, CR0_2, CF0_2, CF0_1, CR0_1, CR0_4, BL_N, BL_L, PT_L, CF0_3, BL_P, BL_LdW, AREA.....	101
Tab. 9. Najlepsze odzwierciedlenie preklasyfikacji liści wg typów pędów (A, B, C) metodą najbliższego sąsiada z użyciem „normalizowanej odległości miejskiej”. Wiersze: klasy obserwowanej preklasyfikacji. Kolumny: klasy uzyskane na podstawie danych. Zmienne: PT_L, PT_W, BL_L, BL_W, BL_N, AREA, BL_LdW, BL_PdW, BL_NdL, ANGLT, ANGRT, ANGLB, ANGRB, CR0_1, CR0_2, CR0_4, CR4_3, CF0_1, CF0_2, CF0_4, CF4_1, EdgeCnt, M_invB, M_invC, M_invD, EF_A1, EF_B1, EF_C1, EF_B2, EF_C2, EF_A3, EF_B3, EF_C3, EF_B4, EF_C4, EF_A5, EF_C6, EF_B7, EF_A8.....	102
Tab. 10. Walidacja krzyżowa zestawu zmiennych uzyskanych za pomocą nieparametrycznej analizy dyskryminacyjnej liści wg typów pędów (Tab. 9) po usunięciu eliptycznych współczynników Fouriera. Wiersze: klasy obserwowanej preklasyfikacji. Kolumny: klasy uzyskane na podstawie danych. Zmienne: PT_L, PT_W, BL_L, BL_W, BL_N, AREA, BL_LdW, BL_PdW, BL_NdL, ANGLT, ANGRT, ANGLB, ANGRB, CR0_1, CR0_2, CR0_4, CR4_3, CF0_1, CF0_2, CF0_4, CF4_1, EdgeCnt.....	102
Tab. 11. Klasyfikacje uzgodnione stanowisk tarniny uzyskane za pomocą algorytmu genetycznego na podstawie średnich wartości cech wielkości i kształtu oraz cech fraktalnych osobno dla każdego z typów liści (A, B, C). W nawiasach skrótów nazw stanowisk słabiej związanych z grupą (np. „(san)”), pochyłą czcionką nazwy stanowisk spoza Polski (np. <i>o7a</i>), <i>Mn</i> oznacza umowny obiekt średni dla całej próby. Wyjaśnienie skrótów na wkładce.....	104
Tab. 12. Klasyfikacja stanowisk tarniny uzyskana za pomocą algorytmu genetycznego na podstawie połączonego zestawu średnich wartości cech wielkości i kształtu oraz cech fraktalnych osobno dla każdego z typów liści. W nawiasach skrótów nazw stanowisk słabiej związanych z grupą (np. „(san)”), pochyłą czcionką nazwy stanowisk spoza Polski (np. <i>ola</i>), nazwy w nawiasach w kolorze szarym (np. „(san)”) oznaczają alternatywną przynależność stanowiska. Wyjaśnienie skrótów na wkładce.....	104
Tab. 13. Zestawy zmiennych najlepiej odzwierciedlające pochodzenie liści <i>Prunus spinosa</i> z różnych stanowisk wraz z wynikami walidacji krzyżowej. Wiersze A, B, C dotyczą poszczególnych typów liści. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych oraz nazw stanowisk na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”.....	114
Tab. 14. Nieparametryczna korelacja Tau Kendall'a między stanowiskiem a morfotypami.....	118

- Tab. 15 . Nieparametryczne korelacje klasyfikacji okazów z cechami biometrycznymi. Dla obu klasyfikacji morfotypów przedstawiono po 50 najbardziej skorelowanych zmiennych w kolejności malejącej korelacji. „A:” – cecha liści długopędowych (wyróżnione), „B:” – cecha liści cierniowych, „C:” – cecha liści krótkopędowych. Przedrostek „MN” – średnia arytmetyczna cechy ze wszystkich liści okazu. Przedrostki „Q2” i „Q3” – mediana i trzeci kwartył cechy ze wszystkich liści okazu. Wyjaśnienie nazw cech na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”. 123
- Tab. 16. Korelacje pomiędzy medianami cech biometrycznych lokalnych populacji *P. spinosa* a cechami klimatycznymi stanowisk z terenu Polski. Na szarym tle korelacje znaczące na poziomie co najmniej 0.05. Wyróżniono korelacje o wartości bezwzględnej większej niż 0.5. Porządek cech ustalony za pomocą grupowania algorytmem genetycznym na podstawie odległości korelacyjnych (por. Tab. 27 w „Dodatku A” na str. 91). 142
- Tab. 17. Korelacje Tau Kendall'a pomiędzy przynależnością okazu do określonego morfotypu, a cechami klimatu stanowiska, w porządku malejącej wartości bezwzględnej. 144
- Tab. 18. Przykładowe nazwy narodowe *Prunus spinosa* L. wraz ze źródłosłowem. 160
- Tab. 19. Zestawienie ważniejszych podgatunków, odmian i mieszańców *P. spinosa* L. 160
- Tab. 20. Tabelaryczne zestawienie stanowisk wraz z cechami geograficzno-klimatycznymi. OKR_WEG = okres wegetacyjny; STRF_WEG = strefy wegetacji; USLONECZ = średnie usłonecznienie; OPADY_ROK = suma opadów; DNI_MROZ = dni mroźne (poniżej 0) w roku; DNI_CIEP = dni ciepłe (powyżej 15) w roku; IZOT_LIP = izotermy lipca; IZOT_STY = izotermy stycznia; IZOT_ROK = izotermy roku; DNI_SNIE = dni śnieżne w roku; IZAMPLTUDY = izoamplitudy miesięczne dla roku; ZCHM_LIP = zachmurzenie lipca; ZCHM_ROK = zachmurzenie średnie; ZCHM_STY = zachmurzenie stycznia. Pusta komórka lub „bd” = brak danych. 161
- Tab. 21. Średnie i odchylenia standardowe cech wielkości i kształtu dla poszczególnych populacji z podziałem wg typów pędów ostatniego rzędu. a – cechy długopędów i liści długopędowych, b – cechy cierni i liści cierniowych, c – cechy liści krótkopędowych. Puste komórki = brak danych. 169
- Tab. 22. Średnie (Mn) i odchylenia standardowe (Sd) cech fraktalnych dla poszczególnych populacji z podziałem wg typów pędów ostatniego rzędu. a – cechy liści długopędowych, b – cechy liści cierniowych, c – cechy liści krótkopędowych. Puste komórki = brak danych. 173
- Tab. 23. Najlepsze odzwierciedlenie preklasyfikacji liści pędów A wg stanowisk metodą najbliższego sąsiada. Wiersze: faktyczne klasy, kolumny: liczby trafień uzyskane dla poszczególnych klas. Zastosowano normalizowaną odległość miejska na zmiennych wyselekcjonowanych metodą nieparametrycznej analizy dyskryminacyjnej: PT_L, PT_W, BL_L, BL_W, BL_N, BL_P, ANGLB, CR0_1, CR0_4, CF0_2, CF0_3, CF4_1, EdgeCnt, M_invA, M_invB, M_invC, M_invD, M_invE, M_invG, EF_A1, EF_C1, EF_B2, EF_C2, EF_D2, EF_A3, EF_B3, EF_C3, EF_A4, EF_B4, EF_A5, EF_C6, EF_C7. 176
- Tab. 24. Najlepsze odzwierciedlenie preklasyfikacji liści pędów B wg stanowisk metodą najbliższego sąsiada. Wiersze: faktyczne klasy, kolumny: liczby trafień uzyskane dla poszczególnych klas. Zastosowano normalizowaną odległość miejska na zmiennych wyselekcjonowanych metodą nieparametrycznej analizy dyskryminacyjnej: PT_W, BL_L, BL_W, BL_LdW, BL_NdL, ANGLB, CR0_1, CF0_1, CF0_2, CF0_3, M_invA, EF_B1, EF_B2, EF_C2, EF_B3. 178
- Tab. 25. Najlepsze odzwierciedlenie preklasyfikacji liści pędów C wg stanowisk metodą najbliższego sąsiada. Wiersze: faktyczne klasy, kolumny: liczby trafień uzyskane dla poszczególnych klas. Zastosowano normalizowaną odległość miejska na zmiennych wyselekcjonowanych metodą nieparametrycznej analizy dyskryminacyjnej: PT_L, PT_W, BL_W, BL_P, AREA, BL_LdW, BL_PdW, BL_NdL, ANGLT, ANGRT, ANGLB, ANGRB, CR4_1, CF0_1, EdgeCnt, M_invA, M_invB, M_invC, M_invD, M_invE, M_invF, M_invG, EF_B2, EF_C2, EF_B3, EF_C3, EF_B4, EF_C4, EF_D4, EF_A5, EF_B5, EF_C7, EF_C10. 180
- Tab. 26. Korelacje pomiędzy głównymi czynnikami uzyskanymi za pomocą PCA a statystykami zmiennych biometrycznych liści poszczególnych okazów *P. spinosa*. Wyróżniono korelacje o wartości bezwzględnej większej od 0.7 oraz większej od 0.5. 182
- Tab. 27. Korelacje pomiędzy zmiennymi klimatycznymi dla 34 stanowisk tarniny. Zamieszczono wyłącznie korelacje o poziomie istotności $p < 0.05$. Porządek zmiennych ustalony poprzez grupowanie algorytmem genetycznym na podstawie macierzy odległości korelacyjnej między cechami. 186

Dodatek D - Spis rycin

- Ryc. 1. Strona z opisem *Prunus spinosa* L. w tomie drugim czwartego wydania „Species plantarum” Linneusza. 11
- Ryc. 2. Pędy i ciernie *Prunus spinosa* L. w różnych fazach cyklu wegetacyjnego (fot. B. Dubielecka i I. Moraczewski) 13
- Ryc. 3. Rozmieszczenie *Prunus spinosa* L. w Europie (obszar pokryty szrafem). Wg „Atlasu rozmieszczenia drzew i krzewów w Polsce” (BROWICZ (RED), GOSTYŃSKA-JAKUSZEWSKA 1976)..... 16
- Ryc. 4. Rozmieszczenie *Prunus spinosa* L. w Polsce (czarne kropki) wg „Atlasu rozmieszczenia drzew i krzewów w Polsce” (BROWICZ (RED), GOSTYŃSKA-JAKUSZEWSKA 1976)..... 18
- Ryc. 5. Różnorodność kształtów liści krzewów *P. spinosa* L. Liście z długopędów (A) w kolorze ciemnozielonym. Liście z cierni (B) w kolorze jasnozielonym. Kolory dobrane arbitralnie. 27
- Ryc. 6. Schemat etapów automatycznej biometrii. (Na podstawie pracy WHITE I IN. 1988, zmodyfikowane.) 33
- Ryc. 7. Miejsowości w których zbierano materiał. A – *Prunus spinosa* L. z materiałów zielnikowych KRAM, B – *Prunus spinosa* L. z materiałów własnych autora pracy, C – inni przedstawiciele rodzaju *Prunus* z materiałów własnych autora. 1. Wolin, 2. Piaski i Sajzy, 3. Gniew i Kwidzyn, 4. Boreczno, 5. Rudzienice, 6. Śmiłowo, 7. Bielinek, 8. Góra św. Wawrzyńca, 9. Sierpc, 10. Puszczykówko, 11. Jabłonna, 12. Lipków, 13. Powsin, 14. Zielony Bór, 15. Staw, 16. Żmudź, 17. Myślibórz, 18. Tapadły, 19. Sulistrowiczki, 20. Sandomierz, 21. Ligota Dln., 22. Skowronno, 23. Skorocice, 24. Tunel, 25. Żywiec, 26. Brzeźna, 27. Załuż i Kamień leski, 28. Zagórz, 29. Lesko, 30. Homole (Jaworki), 31. Sromowce Dln., 32. Otryt. 41
- Ryc. 8. Tarnina na ilustracjach w różnych źródłach. I -owocująca gałązka z długopędami, krótkopędami (KOMAROW 1964 „Flora ZSRR”); II - gałązka z długopędem i cierniem z którego wyrasta młody długopęd (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955 „Flora Polska”); III - stary cierni z kwiatami i owoce (SZAFER, PAWŁOWSKI 1955); IV - bardzo krótki cierni i różne kształty liści (SENETA 1973)..... 47
- Ryc. 9. Etapy wektoryzacji. A - czarno-białe sylwetki liścia i wzorca wielkości. Szara strzałka wskazuje centrum obszaru powiększonego w kwadracie o szarych krawędziach. B – odnaleziona granica kolorów markowana jest kolorem fioletowym. C – odnaleziono dwa najbardziej odległe od siebie punkty wzorca wielkości (wskazywane szarymi strzałkami). Ich odległość jest rozmiarem wzorca w pikselach obrazu. D - wykonano wektoryzację. Wykorzystane już przez procedurę wektoryzacji punkty granicy są markowane kolorem niebieskim. Na przedstawionym konturze wierzchołek każdego wektora składowego otoczony jest fioletowym okręgiem. 61
- Ryc. 11. Wizualizacja sporządzona przez program w trakcie wykonywania procedury poszukiwania ogonka liściowego. M_i , S_i , H_i wyrażają liczbowo założenia heurystyczne służące do utworzenia kompleksowej funkcji F_i wyrażającej jakość podziału liścia w punkcie i . Sylwetka liścia jest tu zniekształcona. Objaśnienie algorytmu w tekście. 68
- Ryc. 12. Wizualizacja procedury pomiaru liniowego i odnalezionych punktów charakterystycznych (markerów) dla liścia i długopędu tarniny. Poszczególne litery związane z grubymi strzałkami wskazują: a – punkty konturu blaszki liściowej, b – rosnące od nasady blaszki odległości od prostej osi blaszki do jej prawego boku, c – łamaną oś blaszki, prawie całkowicie w tym wypadku pokrywającą oś prostą (patrz opis powyżej), d – rosnące od nasady blaszki odległości od prostej osi blaszki do jej lewej krawędzi, e – rosnące od szczytu blaszki odcinki, których środki wyznaczają oś łamaną, a najdłuższy wyznacza najszerszy punkt blaszki, f – minimum funkcji ilorazu sum odległości służącej do wyznaczanie jednego z hipotetycznych szczytów blaszki, g – maksimum funkcji odległości od nasady blaszki służącej do wyznaczanie jednego z hipotetycznych szczytów blaszki, h – widoczną, w tym wypadku prostą oś obiektu (błędna ponieważ obiektem jest wygięty długopęd). Podpisy angielskie po prawej stronie są nazwami markerów nadawanymi automatycznie przez program. 72

- Ryc. 13. Wizualizacja procedury pomiaru kątów stycznych. Gruba strzałka wskazuje przykładowe odcinki o rosnącym kącie służące do wyznaczenia prawego dolnego kąta stycznego (Prawy kontur liścia jest odwrócony o 180°). Podpisy angielskie po prawej stronie są nazwami markerów nadawanymi automatycznie przez program. 73
- Ryc. 14. Wizualizacja procedury szukania cech wymiaru korelacyjnego dla zakresów do 9 mm, wykonane przez program dla przykładowego liścia tarniny. Pomiedzy osiami układu współrzędnych widoczne cztery niemal pokrywające się proste regresji (zielone). Powyżej osi rzędnych kontur liścia składający się z punktów w kolorze ilustrującym lokalny wymiar fraktalny. Poniżej osi wykres ilości sąsiednich punktów (kolor modulo 256), w zależności od promienia (oś odciętych), dla kolejnych punktów konturu (oś rzędnych). 78
- Ryc. 15. Wizualizacja procedury wyznaczania eliptycznych współczynników Fouriera. Widoczny rzeczywisty kontur liścia (zdeformowany przez zastosowany układ współrzędnych), kontur odtworzony z 10 harmonik, oraz harmoniki przedstawione addytywnie (1-sza, 1-sza+2-ga, 1-sza+2-ga+3-cia itd.) jako funkcje kąta (czarna oś). 82
- Ryc. 16 (następna strona). Dendryt przedstawiający związki między ważniejszymi zmiennymi opisującymi materiał *Prunus spinosa* L. uzyskane o na podstawie odległości korelacyjnej. Wyjaśnienie skrótów na wkładce oraz w „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne” 95
- Ryc. 16. Porównanie wielkości, kształtu (I) oraz cech fraktalnych krawędzi (II) dla liści z trzech typów pędów do próby ogólnej (linia odniesienia). A – liście długopędowe, B - liście cierniowe, C-liście krótkopędowe. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”. 99
- Ryc. 17. Skalowanie wielowymiarowe stanowisk tarniny uzyskane na podstawie macierzy normalizowanej odległości miejskiej obliczonej z połączonego zestawu średnich wartości cech wielkości i kształtu oraz cech fraktalnych osobno dla każdego z typów liści. Pochylił czcionką nazwy stanowisk spoza Polski (np. *ola*). Konturami zakreślono granice wyraźnych grup stanowisk. Kontur kreskowany – główna grupa stanowisk, kontur kropkowany – alternatywna grupa stanowisk. Wyjaśnienie skrótów na wkładce. 105
- Ryc. 18. Porównanie cech wielkości i kształtu liści długopędowych (A) ze stanowisk *Prunus spinosa* L. z terenu Polski do próby ogólnej (linia odniesienia). Cyframi rzymskimi II, IV, VI oznaczono podgrupy dominującej grupy stanowisk. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych oraz nazw stanowisk na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”. 107
- Ryc. 19. Porównanie cech fraktalnych krawędzi blaszki liści długopędowych (A) ze stanowisk *Prunus spinosa* L. z terenu Polski do próby ogólnej (linia odniesienia). Cyframi rzymskimi II, IV, VI oznaczono podgrupy dominującej grupy stanowisk. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych oraz nazw stanowisk na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”. 108
- Ryc. 20. Porównanie cech wielkości i kształtu liści cierniowych (B) ze stanowisk *Prunus spinosa* L. z terenu Polski do próby ogólnej (linia odniesienia). Cyframi rzymskimi II, IV, VI oznaczono podgrupy dominującej grupy stanowisk. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych oraz nazw stanowisk na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”. 109
- Ryc. 21. Porównanie cech fraktalnych krawędzi blaszki liści cierniowych (B) ze stanowisk *Prunus spinosa* L. z terenu Polski do próby ogólnej (linia odniesienia). Cyframi rzymskimi II, IV, VI oznaczono podgrupy dominującej grupy stanowisk. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych oraz nazw stanowisk na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”. 110
- Ryc. 22. Porównanie cech wielkości i kształtu liści krótkopędowych (C) ze stanowisk *Prunus spinosa* L. z terenu Polski do próby ogólnej (linia odniesienia). Cyframi rzymskimi II, IV, VI oznaczono podgrupy dominującej grupy stanowisk. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych oraz nazw stanowisk na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”. 111
- Ryc. 23. Porównanie cech fraktalnych krawędzi blaszki liści krótkopędowych (C) ze stanowisk *Prunus spinosa* L. z terenu Polski do próby ogólnej (linia odniesienia). Cyframi rzymskimi II, IV, VI oznaczono podgrupy dominującej grupy stanowisk. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych oraz nazw stanowisk na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne”. 112

- Ryc. 24. Porównanie wielkości, kształtu (I) oraz cech fraktalnych krawędzi (II) liści trzech typów ze stanowisk spoza terenu Polski do próby ogólnej (linia odniesienia). A – liście długopędowe, B - liście cierniowe, C-liście krótkopędowe. Wyjaśnienie skrótów nazw zmiennych na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne” 113
- Ryc. 25 (obok). Porównanie liczby okazów w poszczególnych morfotypach w zależności od typu pędu (I. i II.) oraz liczby okazów opisanych wszystkimi cechami (ABC) przynależących do poszczególnych kombinacji morfotypów (III). „a”, „ab”, „abc”, „ac” – poszczególne typy pędów. „Morfotypy AB” – symbole numeryczne poszczególnych morfotypów określonych dla młodych pędów. „Morfotypy AC” - symbole numeryczne poszczególnych morfotypów określonych dla starszych pędów. Rozmiar kół w węzłach siatki proporcjonalny do liczby okazów. Linia kreskową otoczono kombinację morfotypów AB14:AC10 reprezentującą być może formę alternatywną 119
- Ryc. 26 (następne dwie strony). Udział procentowy poszczególnych morfotypów w populacjach lokalnych. I. dla okazów reprezentowanych przez młode pędy (AB), II. dla okazów reprezentowanych przez starsze pędy (AC). Wiersze – poszczególne morfotypy w kolejności udziału procentowego w całej próbie. Kolumny – poszczególne próby lokalne w kolejności grup wg „4.2.2. Analiza podziału liści wg stanowisk”. „Morfotypy AB” – symbole numeryczne poszczególnych morfotypów określonych dla młodych pędów. „Morfotypy AC” - symbole numeryczne poszczególnych morfotypów określonych dla starszych pędów. Wysokość słupków – udział procentowy poszczególnych morfotypów. Kolumna „%Expec.” – udział procentowy spodziewany na podstawie całej próby. Wyjaśnienie skrótów pozostałych kolumn (stanowisk) na wkładce oraz w rozdziale „2.4. Mierzone i wyliczone cechy biometryczne” 120
- Ryc. 27. Porównanie rozkładów wartości przykładowych statystyk klasycznych cech biometrycznych liści młodych pędów. Punkty oznaczają położenie mediany wartości statystyki, prostokąty ograniczają zakres 25 do 75%, zaś odcinek minimum i maksimum; obie wartości z pominięciem wartości odstających zaznaczonych na wykresie osobnymi punktami. Objasnienie skrótów patrz Tab. 15. 127
- Ryc. 28. Porównanie rozkładów wartości przykładowych statystyk cech fraktalnych liści młodych pędów. Punkty oznaczają położenie mediany wartości statystyki, prostokąty ograniczają zakres 25 do 75%, zaś odcinek minimum i maksimum; obie wartości z pominięciem wartości odstających zaznaczonych na wykresie osobnymi punktami. Objasnienie skrótów patrz Tab. 15. 128
- Ryc. 29. Porównanie rozkładów wartości przykładowych statystyk cech liści starszych pędów. Punkty oznaczają położenie mediany wartości statystyki, prostokąty ograniczają zakres 25 do 75%, zaś odcinek minimum i maksimum; obie wartości z pominięciem wartości odstających (*outliers*) zaznaczonych osobnymi punktami. Objasnienie skrótów patrz Tab. 15. 129
- Ryc. 30. Wykres rozrzutu dla okazów młodych (I) i starych (II) pędów uzyskany z użyciem wysoko skorelowanych z morfotypami zmiennych wielkości oraz fraktalnych (B:MNCRO_1, A:Q3BL_L, C:Q2BL_W, A:Q2CF0_3 - zasadę tworzenia nazw statystyk cech wyjaśniono w podpisie pod Tab. 15). Na wykresie I. brak niektórych mniej licznych klas, ponieważ użyto cechy liści cierniowych, których nie było na niektórych okazach..... 131
- Ryc. 31. (Następna strona) Rozmieszczenie poszczególnych morfotypów i okazów w przestrzeni wyznaczonej przez dwa czynniki uzyskane za pomocą PCA wykonanej na średnich wartościach cech liści oraz wartościach trzecich kwartyli cech liści. 133
- Ryc. 32. Wynik skalowania wielowymiarowego (dla 2 wymiarów), wykonanego na podstawie macierzy normalizowanej odległości miejskiej z cech biometrycznych, przedstawiający wzajemne relacje liści trzech gatunków śliw i mieszańców opisanych w ENDLICH, MURAWSKI (1962). P.c. x P.s. = *Prunus cerasifera* x *Prunus spinosa*, F1 - pierwsze pokolenie mieszańców, Fn.- następne pokolenia, 2N – diploidalna liczba chromosomów. 136
- Ryc. 33. Dendrogram wykonany metodą Warda na podstawie macierzy normalizowanej odległości miejskiej z cech biometrycznych przedstawiający wzajemne relacje liści trzech gatunków śliw i mieszańców przedstawionych w artykule (ENDLICH, MURAWSKI 1962). D – wartości odległości. 137
- Ryc. 34. Dendrogram wykonany metodą Warda dla mieszanego zbioru wylosowanych okazów *Prunus spinosa* i reprezentantów innych taksonów rodzaju *Prunus*. Użyto macierzy normalizowanej odległości miejskiej (oś D) obliczonej na podstawie średnich oraz drugiego i trzeciego kwartyli cech biometrycznych liści długo- i krótkopędowych. Obiekty: „B PDOM xxx” - różne okazy *P. domestica* z Brzeźnej, „P PDOM I_x” - *P. domestica* subsp. *insititia* z Powsina, „P PCER xx” - *P. cerasifera* z Powsina, „Z PCER xxx” - *P. cerasifera* z Zagórza, „P PANG” - *P. angustifolia* z Powsina. Pozostałe obiekty są okazami *P. spinosa* z różnych stanowisk. Pierwsze trzy litery nazwy stanowią kod stanowiska (patrz wkładka), cyfry kod okazu,

ostatnia litera rodzaj okazu (A - okaz długopędowo-krótkopędowy (AC), C-okaz krótkopędowy (b. stary). W nawiasach numery morfotypów	138
Ryc. 35. Wynik skalowania wielowymiarowego (dla 2 wymiarów) mieszanego zbioru zawierającego wylosowane starsze okazy <i>Prunus spinosa</i> (AC) oraz kilka okazów reprezentujących inne taksony rodzaju <i>Prunus</i> (v.= <i>varietas</i> , s.= <i>subspecies</i>). Użyto macierzy normalizowanej odległości miejskiej obliczonej na podstawie średnich oraz drugiego i trzeciego kwartyła cech biometrycznych liści długo- i krótkopędowych. „mor. ACxx” = morfotyp starszych pędów nr xx. (por. Ryc. 42 str. 185)	139
Ryc. 36. Położenie stanowisk tarniny w przestrzeni zdefiniowanej przez średnie zachmurzenie lipca (oś ZCHM_LIP) oraz medianę długości blaszki lokalnej populacji (oś Q2BL_L). Prosta regresji prezentuje hipotetyczną zależność długości blaszki od zachmurzenia.....	143
Ryc. 38. Histogramy wybranych zmiennych wielkości z podziałem na trzy typy liści.....	165
Ryc. 39. Histogramy zmiennych opartych na wymiarze cyrklowym z podziałem na trzy typy liści.....	166
Ryc. 40. Histogramy zmiennych opartych na wymiarze korelacyjnym z podziałem na trzy typy liści.....	167
Ryc. 41. Histogramy pierwszych kilku współczynników fourierowskich z podziałem na trzy typy liści.....	168
Ryc. 41. Wyniki skalowania wielowymiarowego (dla 2 wymiarów) dla okazów śliw opisanych przez cechy liści długopędowych i niekiedy cierni (I.) oraz przez cechy liści długopędowych i krótkopędowych (II.). Użyto macierzy normalizowanej odległości miejskiej pomiędzy okazami obliczonej na podstawie średnich, median i trzecich kwartyli z cech liści. (x) -oznacza osobnika o cechach mieszańcowych, (?) - osobnika o niepewnym oznaczeniu, (? Sulist.) - jeden z osobników ze stanowiska Sulistrowiczki, o bardzo niepewnym oznaczeniu. ...	184
Ryc. 42. Wynik skalowania wielowymiarowego (dla 2 wymiarów) wylosowanych okazów tarniny oraz wybranych okazów innych gatunków rodzaju <i>Prunus</i> . Macierz normalizowanej odległości miejskiej oparta na następujących zmiennych wybranych na podstawie wartości absolutnej korelacji Tau >0.4 i zredukowanych za pomocą nieparametrycznej analizy dyskryminacyjnej (patrz str. 90): cQ2BL_W, cQ2Area, cMnBL_W, cQ2BL_P, cQ2BL_N, cQ2BL_L, cMnBL_P, cQ3BL_P, cMnCF0_3, cQ2CF0_2, cQ2CR0_4. v.= <i>varietas</i> , s.= <i>subspecies</i> , mor.=morfotyp.....	185

Dodatek E - Skróty
(wkładka)

Na następnej stronie.

bie	Bielinek	bor	Boreczno	gad	Gadorosz
gni	Gniew	hom	Homole	jab	Jabłonna
lek	Kamień Leski	les	Lesko	lig	Ligota Dln.
lip	Lipków	mys	Wąwóz myśliborski	nit	Nitra
ola	Olaszliszka	otr	Otryt V 99 r.	otz	Otryt VIII 99 r.
pia	Piaski 98r	pib	Piaski 99 r.	pry	Przysłup (Załuz)
pus	Puszczykówko	rud	Rudzienice	san	Sandomierz
sie	Sierpc	sko	Skorocice	skw	Skowronno
sro	Sromowce Niżne	sta	Staw	tap	Tapadły
tsmi	Smiłowo	tun	Tunel	waw	Góra Św. Wawrzyńca
wol	Wolin	zie	Zielony Bór	zmu	Żmudź
zyw	Żywiec.				

BR_L : długość pędu, z którego zerwano liść (mm),
BR_W : największa szerokość (grubość) tego pędu (mm),
BR_LDW : stosunek długości pędu do jego szerokości (mm),
PT_L : długość ogonka liściowego (mm),
PT_W : największa szerokość ogonka liściowego (mm),
BL_L : optymalizowana długość blaszki liściowej od nasady ogonka do wierzchołka (mm),
BL_W : optymalizowana szerokość blaszki (mm) jako wartość maksymalna z dwóch alternatywnych metod,
BL_N : optymalizowana odległość najszerszego miejsca blaszki liściowej od nasady ogonka (mm),
BL_P : obwód blaszki liściowej jako suma długości wektorów przybliżających kontur blaszki (mm),
AREA : powierzchnia blaszki liściowej (mm²),
EdgeCnt : liczba ząbków wykrytych na wzdłuż krawędzi blaszki liściowej,
BL_LDW : stosunek długości blaszki do jej szerokości,
BL_PDW : stosunek obwodu blaszki do jej szerokości,
BL_NDL : stosunek odległości najszerszego miejsca blaszki do jej długości,
ANGLT : maksymalny lewy styczny kąt szczytowy liczony od szczytu blaszki w dół (stopnie),
ANGRT : maksymalny prawy styczny kąt szczytowy (stopnie),
ANGLB : maksymalny lewy kąt nasadowy liczony od nasady ogonka w górę (stopnie),
ANGRB : maksymalny prawy kąt nasadowy (stopnie),
CR0_1 : korelacyjny wymiar fraktalny dla struktur krawędzi o rozmiarach od 0.1-2.0 mm, (na niektórych wykresach CR0+1)
CR0_2 : korelacyjny wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-4.5 mm, (na niektórych wykresach CR0+2)
CR0_3 : korelacyjny wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-6.50 mm, (CRx+n ...)
CR0_4 : korelacyjny wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-9.0 mm,
CR4_1 : korelacyjny wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-10.0 mm,
CR4_2 : korelacyjny wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-20.0 mm,
CR4_3 : korelacyjny wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-30.0 mm,
CR4_4 : korelacyjny wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-40.0 mm,
CF0_1 : cyrkłowy (kompasowy) wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-2.0 mm, (na niektórych wykresach CF0+1)
CF0_2 : cyrkłowy wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-4.5 mm, (na niektórych wykresach CF0+2)
CF0_3 : cyrkłowy wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-6.50 mm, (CFx+n ...)
CF0_4 : cyrkłowy wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-9.0 mm,
CF4_1 : cyrkłowy wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-10.0 mm,
CF4_2 : cyrkłowy wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-20.0 mm,
CF4_3 : cyrkłowy wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-30.0 mm,
CF4_4 : cyrkłowy wymiar fraktalny dla struktur o rozmiarach od 0.1-40.0 mm,
M_invA : niezmiennik momentu I₁,
M_invB : niezmiennik momentu I₂,
M_invC : niezmiennik momentu I₃,
M_invD : niezmiennik momentu I₄,
M_invE : niezmiennik momentu I₅,
M_invF : niezmiennik momentu I₆,
M_invG : niezmiennik momentu I₇,
EF_A1 : współczynnik dla **cos(X)** pierwszej harmoniki Fouriera (2π),
EF_B1 : współczynnik dla **sin(X)** pierwszej harmoniki Fouriera (2π),
EF_C1 : współczynnik dla **cos(Y)** pierwszej harmoniki Fouriera (2π)
EF_D1 : współczynnik dla **sin(Y)** pierwszej harmoniki Fouriera (2π)
.....
EF_An : współczynnik dla **cos(X)** n-tej harmoniki Fouriera (π*2/n),
EF_Bn : współczynnik dla **sin(X)** n-tej harmoniki Fouriera (π*2/n),
EF_Cn : współczynnik dla **cos(Y)** n-tej harmoniki Fouriera (π*2/n),
EF_Dn : współczynnik dla **sin(Y)** n-tej harmoniki Fouriera (π*2/n),

Dodatek F – Zestawienie kategorii hierarchii taksonomicznej

nazwa polska – *nazwa łacińska* (typowe końcówki nazw taksonów)

dział – *divisio*.

poddział – *subdivisio*

klasa – *classis* (-opsida, -atae)

podklasa – *subclassis* (-idae)

nadrząd – *superordo* (-anae)

rząd – *ordo* (-ales)

rodzina – *familia* (-aceae)

podrodzina – *subfamilia* (-oideae)

plemię – *tribus* (-eae)

podplemię – *subtribus* (-inae)

rodzaj – *genus*

podrodzaj – *subgenus*

sekcja – *sectio*

seria – *series*

gatunek – *species* (skrót sp. po nazwie rodzaju oznacza dowolny lub nieokreślony gatunek z tego rodzaju).

podgatunek – *subspecies* (skrót subsp.)

odmiana – *varietas* (skrót var.)

forma – *forma*

Dodatek G - Zestawienie różnych opisów *P. spinosa* i gatunków pokrewnych.

Od następnej strony

W wersji elektronicznej zestawienie to jest dostępne jako osobny plik.

6,13,41,61,68,72,73,78,82,99,105,107,108,109,110,111,112,113,121-
124,131,134,136,139,142,143,165,166,167,168,182-186
(119,127,128,129,137,138,144)